

Integracija autonomnih bespilotnih letjelica u inteligentnu prometnu infrastrukturu

Matić, Marko

Master's thesis / Diplomski rad

2023

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Transport and Traffic Sciences / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:119:195246>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-10-21**



Repository / Repozitorij:

[Faculty of Transport and Traffic Sciences - Institutional Repository](#)



Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti

MARKO MATIĆ

**INTEGRACIJA AUTONOMNIH BESPILOTNIH LETJELICA
U INTELIGENTNU PROMETNU INFRASTRUKTURU**

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, srpanj 2023.

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti

DIPLOMSKI RAD

**INTEGRACIJA AUTONOMNIH BESPILOTNIH LETJELICA
U INTELIGENTNU PROMETNU INFRASTRUKTURU**

**INTEGRATION OF AUTONOMOUS UNMANNED AERIAL
VEHICLES INTO INTELLIGENT TRANSPORTATION
INFRASTRUCTURE**

Mentor: izv. prof. dr. sc. Pero Škorput

Student: Marko Matić, 0135255980

Zagreb, srpanj 2023.

Zagreb, 23. svibnja 2023.

Zavod: **Zavod za inteligentne transportne sustave**
Predmet: **Inteligentni transportni sustavi II**

DIPLOMSKI ZADATAK br. 7230

Pristupnik: **Marko Matić (0135255980)**
Studij: **Inteligentni transportni sustavi i logistika**
Smjer: **Inteligentni transportni sustavi**

Zadatak: **Integracija autonomnih bespilotnih letjelica u inteligentnu prometnu infrastrukturu**

Opis zadatka:

U diplomskom radu potrebno je istražiti temu integracije autonomnih bespilotnih letjelica u inteligentnu prometnu infrastrukturu. Rad treba pružiti detaljan uvod u autonomne bespilotne letjelice, istražiti njihova različita područja primjene u prometu i analizirati načine njihove integracije u postojeće inteligentne transportne sustave. Rad također treba predložiti metodologiju za razvoj sub-arhitekture usluga inteligentnih transportnih sustava i predstaviti prijedlog arhitekture inovativnih ITS usluga zasnovanih na autonomnim bespilotnim letjelicama. Rad treba analizirati trenutni zakonodavni i regulatorni okvir koji utječe na primjenu ovih tehnologija u prometu. Cilj diplomskog rada je pružiti opći pregled područja i ponuditi inovativna rješenja za daljnju integraciju i razvoj.

Mentor:



doc. dr. sc. Pero Škorput

Predsjednik povjerenstva za
diplomski ispit:

SAŽETAK

Porastom prometnog opterećenja u gradovima dolazi do velikih zagušenja i samim time povećanja rizika prometovanjem cestovnim prometom. Dosadašnja rješenja poput izgradnje novih prometnica i slično postaju neučinkovita na duži vremenski period te zahtijevaju velika financijska ulaganja. Za stvaranje novih inovativnih rješenja koja se temelji na pametnim tehnologijama bavi se grana prometa inteligentni transportni sustavi (engl. Intelligent Transportation System - ITS). Temeljni koncept ITS-a je da se stvori takva infrastruktura koja se temelji na kooperacijskom djelovanju sudionika prometa i same infrastrukture korištenjem nove tehnologije. Ovim diplomskim radom istražuje se mogućnost primjene bespilotnih letjelica u novim ITS rješenjima. Rad pruža pogled povijesnog razvoja bespilotnih letjelica, klasifikaciju te načine autonomnog upravljanja bespilotnih letjelica. Nadalje, radom su istražena područja primjene sustava bespilotnih letjelica u okviru prometa. Isto tako istraženi su načini implementacije bespilotnih letjelica u postojeće ITS infrastrukture, te je istražena metodologija izrade sub-arhitekture ITS usluga koje primjenjuju autonomne bespilotne letjelice. Također, prema definiranoj metodologiji izrađen je primjer izrade ITS sub-arhitekture koristeći programski alat Enterprise Architect. Na kraju, sve je popraćeno analizom europske i nacionalne regulative za primjenu bespilotnih letjelica.

KLJUČNE RIJEČI: bespilotna letjelica, inteligentni transportni sustav, promet, metodologija, regulativa bespilotnih letjelica

SUMMARY

An increase of traffic in cities leads to heavy congestions and, therefore, an increase of risk in road traffic. Previous solutions such as the construction of new roads and the like prove to be insufficient long term solutions and require large financial investments. Instead a branch in traffic called Intelligent Transportation Systems are all about creating new innovative solutions based on smart technologies. The basic concept of ITS is to create such an infrastructure based on the cooperative action of traffic participants and the infrastructure itself using new technology. This graduate work investigates the possibility of using unmanned aerial vehicles as a component of new or existing ITS solutions. The paper provides an overview of the historical development of unmanned aerial vehicles, classification and ways of autonomous management of unmanned aerial vehicles. Furthermore, the work explored the areas of application of unmanned aerial vehicle system in the context of traffic. Ways of implementing drones into existing ITS infrastructures were also investigated, as well as methodology of creating sub-architecture of ITS services using autonomous unmanned aerial vehicles. Also, according to the defined methodology an example of creating an ITS sub-architecture was created using Enterprise Architect software tool. Finally, everything is accompanied by an analysis of European and national regulations for the use of unmanned aerial vehicles.

KEY WORDS: unmanned aerial vehicle, intelligent transportation system, traffic, methodology, regulations

SADRŽAJ

1. UVOD.....	5
2. AUTONOMNE BESPILOTNE LETJELICE	7
2.1. Povijesni razvoj bespilotnih letjelica.....	7
2.2. Podjela i klasifikacija bespilotnih letjelica.....	10
2.3. Sustavi autonomnog upravljanja bespilotnih letjelica.....	12
2.3.1. Potpuno autonomne bespilotne letjelice	13
2.3.2. Tehnike navigacije bespilotnih letjelica.....	16
3. PODRUČJA PRIMJENE AUTONOMNIH BESPILOTNIH LETJELICA U PROMETU 19	
3.1. Primjena autonomnih bespilotnih letjelica u području cestovne sigurnosti.....	20
3.2. Primjena autonomnih bespilotnih letjelica za nadzor i upravljanje prometom.....	21
3.3. Primjena autonomnih bespilotnih letjelica za održavanje prometne infrastrukture ..	23
4. INTEGRACIJA BESPILOTNIH LETJELICA U POSTOJEĆE ITS INFRASTRUKTURE.....	25
4.1. Struktura postojećih ITS infrastruktura.....	25
4.2. Prednosti i mane integracije autonomnih bespilotnih letjelica.....	27
4.3. Integracija autonomnih bespilotnih letjelica u postojeće ITS infrastrukture	29
5. METODOLOGIJA RAZVOJA SUB-ARHITEKTURE ITS USLUGA.....	33
5.1. FRAME NEXT	34
5.2. Metodologija razvoja sub-arhitekture ITS usluga primjenom alata FRAME arhitekture.....	36
6. PRIJEDLOG ARHITEKTURE INOVATIVNIH ITS USLUGA ZASNOVANIH NA AUTONOMNIM BESPILOTNIM LETJELICAMA.....	42
6.1. Korisnički zahtjevi	43
6.2. Funkcionalni pogled.....	45
6.3. Fizički pogled.....	52

7.	ANALIZA ZAKONODAVNOG I REGULATORNOG OKVIRA PRIMJENE	56
7.1.	Analiza EU regulative za primjenu bespilotnih letjelica.....	57
7.1.1.	'Otvorena' kategorija	57
7.1.2.	'Posebna' kategorija.....	58
7.1.3.	'Certificirana' kategorija.....	59
7.2.	Analiza regulative Republike Hrvatske za primjenu bespilotnih letjelica	60
7.3.	Analiza zakonodavnog i regulatornog okvira primjene bespilotnih letjelica.....	62
8.	ZAKLJUČAK.....	66
	LITERATURA	68
	POPIS SLIKA.....	71
	POPIS TABLICA	72

1. UVOD

Sve većim porastom stanovnika u velikim gradovima dolazi do veće primjene osobnih vozila čija je posljedica povećanja prometnog opterećenja i stvaranja velikih zagušenja u gradovima. Osim što je posljedica zagušenja gubitak vremena, dolazi i do općenitog narušavanja kvalitete života u gradovima povećanjem stresa, smanjenju sigurnosti u prometu i do lošeg ekološkog utjecaja. Razvojem novih tehnologija pokušava se unaprijediti sigurnost u prometu, smanjiti ekološki utjecaj te ukloniti veća zagušenja u gradovima. Jedna od tehnologija koja pronalazi svoju primjenu u grani prometa su bespilotne letjelice.

Primjena bespilotnih letjelica u prometu trebala bi zamijeniti, ili barem nadopuniti, postojeće senzore poput stacionarnih kamera kako bi se mogli sakupljati razni bitni prometni parametri kojima bi se moglo doći do boljih uvida u probleme prometovanja pojedinim prometnicama ili slično. Naravno primjenom bespilotnih letjelica mogao bi se razviti dobar broj sustava koji bi mogli u konačnici pomoći u boljem vođenju prometa, otkrivanju infrastrukturnih mana ili povećanju općenite sigurnosti prometa. Pitanje je kako se tehnologije bespilotnih letjelica mogu integrirati u već postojeće sustava ili kakvi bi se novi sustavi mogli stvoriti na temelju takve tehnologije.

U ovom diplomskom radu upravo je integracija autonomnih bespilotnih letjelica u inteligentnu prometnu infrastrukturu cilj istraživanja. Cilj je istražiti načine autonomnog upravlja bespilotnih letjelica i područja njihove primjene u grani cestovnog prometa. Nadalje, potrebno je istražiti metodologiju izrade arhitekture takvih sustava temeljem kojeg će se izraditi primjer koristeći odgovarajuće alate. Samim time, ovaj rad se dijeli u osam cjelina, a one su:

1. Uvod
2. Autonomne bespilotne letjelice
3. Područja primjene autonomnih bespilotnih letjelica u prometu
4. Integracija bespilotnih letjelica u postojeće ITS infrastrukture
5. Metodologija razvoja sub-arhitekture ITS usluga
6. Prijedlog arhitekture inovativnih ITS usluga zasnovanih na autonomnim bespilotnim letjelicama
7. Analiza zakonodavnog i regulatornog okvira primjene

8. Zaključak

Drugo poglavlje ovoga rada daje povijesni pregled razvoja tehnologije bespilotnih letjelica. Isto tako istražuje se njihov način podjele i klasifikacije bilo prema svrsi ili fizičkim karakteristikama. Također će se istražiti sustavi autonomnog upravljanja bespilotnim letjelicama gdje će se sagledati kakve su to potpuno autonomne bespilotne letjelice i koji su načini navigacije.

U trećem poglavlju opisana su moguća područja primjene bespilotnih letjelica u prometu. Za područja primjene uzeta su područja za cestovnu sigurnost, nadzor i upravljanje prometom i održavanje prometne infrastrukture.

Dalje u četvrtom poglavlju, opisuju se mogućnosti integracije bespilotnih letjelica u postojeće ITS infrastrukture. Time je sagledano kako se tvore postojeće ITS infrastrukture i koje bi bile prednosti i mane za integraciju autonomnih bespilotnih letjelica u takve. Na kraju istraženo je kako bi se takva integracija u postojeće infrastrukture mogla provesti.

Petim poglavljem opisuje se metodologija razvoja sub-arhitekture ITS usluge. Ovim poglavljem opisati će se FRAME NEXT projekt Europske unije temeljem kojeg će biti opisana metodologija izrade takvih arhitekturi.

U šestom poglavlju dan je prijedlog arhitekture inovativne ITS usluge koja se zasniva na tehnologiji autonomnih bespilotnih letjelica. Osim prijedloga, prema definiranoj metodologiji u petom poglavlju, izrađena je cijela arhitektura gdje su svi dijelovi arhitekture detaljno opisani.

Pod sedmom poglavlju, detaljno je provedena analiza europske i nacionalne regulative za primjenu bespilotnih letjelica. Osim toga provedena je analiza regulatornog okvira primjene bespilotnih letjelica za složenije letačke operacije.

Konačno, u osmom poglavlju, temeljem svih prijašnjih poglavlja iznesen je zaključak kojim se zaokružuje ovaj diplomski rad.

2. AUTONOMNE BESPILOTNE LETJELICE

Posljednjih godina dolazi do velikog razvoja tehnologije bespilotnih letjelica (engl. Unmanned Aerial Vehicle - UAV), poznatijih kao dronovi. Dronovi su letjelice koje ne zahtijevaju prisutnost pilota unutar samog vozila, već se upravljanje izvršava na daljinu od strane ljudskog operatera kao daljinski pilotirani zrakoplov (engl. Remotely-Piloted Aircraft - RPA) ili različitim stupnjevima autonomnosti, od manjih sustava pomoći u upravljanju, do potpuno autonomnog zrakoplova bez ikakve potrebe ljudske intervencije.

Može se reći da u dronove spadaju letjelice koje ne prevoze pilota vozila, već samo izvor energije koji omogućuje kretanje kontrolirano od strane udaljenog upravljača ili neke vrste autonomne navigacije. Prema AIAA (engl. American Institute of Aeronautics and Astronautics) dronovi su definirani kao letjelice koje su dizajnirane, ne da prevoze ljudskog pilota, već kao takve da su upravljanje putem elektroničkog ulaza od strane upravljača ili autonomnog sustava za kontrolu vožnje [1].

Dronovi su izvorno razvijeni kroz 20. stoljeće, prvenstveno za vojne svrhe, a kasnije i za civilne potrebe. Razvojem tehnologije omogućena je komercijalna uporaba bespilotnih letjelica u 21. stoljeću u mnogim područjima primjene kao što je dostava proizvoda, zračno snimanje terena, izrada digitalnih ortofoto karata, inspekcija infrastrukture, patroliranje i nadzor, i mnoge druge primjene.

2.1. Povijesni razvoj bespilotnih letjelica

Prva pojava dronova bila je kao alat za ratovanje već sredinom 1850-ih godina, gdje su opsadom Venecije, austrijske snage koristile samo navodeće balone punjene eksplozivom [2]. Sami baloni su imali gotovo pa nikakav utjecaj zbog mnogih mana, a ponajviše zbog atmosferskih utjecaja. Iako je ovaj koncept daleko od dronova kakvi su danas poznati u svijetu zanimljivo je vidjeti kako se ideja tvori već od 19. stoljeća.

Nadalje, u 20. stoljeću tokom Prvog svjetskog rata došlo je do razvoja prvih ratnih dronova. Prvi uspješni UAV torpedo izumio je Charles Kettering 1917. godine pod nazivom Kettering Bug (slika 1), a za navigaciju korištene su žiroskopske kontrole, koju je razvijao Elmer Sperry u svrhu postizanja sustava auto pilota [3]. Letjelica nikada nije doživjela ratnu primjenu kako je Prvi svjetski rat završio.



Slika 1. Kettering bug - prvi uspješni UAV torpedo

Izvor: <https://en.wikipedia.org/>

Nakon Prvog svjetskog rata dolazi do razvoja tehnologije radio kontroliranih (Radio Controlled - RC) letjelica. S tim u vezi dolazi do stvaranja inovativne letjelice sa nazivom Queen Bee u Velikoj Britaniji. Queen Bee, prikazan na slici 2, je sustav koji je bio sposoban izvesti samostalni povratak nakon izvršenja zadatka te je poprimio nadimak „Drone“, čime se smatra da je to prvi prikaz modernog drona [4].



Slika 2. Queen Bee

Izvor: <https://commons.wikimedia.org/>

Nakon velikog uspjeha u Velikoj Britaniji u Sjedinjenim Državama, britanski glumac Reginald Denny razvija RadioPlane OQ-2 uz pomoć inženjera Waltera Rightera 1930ih godina čime dolazi do prve masovne proizvodnje dronova. Međutim stvarna zasluga za izum RC zrakoplova pripada Edwardu M. Soernsenu, koji je patentirao izum koji koristi zemaljski terminal za praćenje kretanja zrakoplova. Prije razvoja ovakve tehnologije RC zrakoplovi mogli su djelovati samo u vizualnom pogledu kontrolnog pilota [4].

Sljedeći veći razvoj i primjena dronova nastaje tokom vijetnamskog rata. Dolazi do prijenosa informacija u stvarnom vremenu, što znači da je postignuta mogućnost analize slike snimljene od strane letjelice u stvarnom vremenu [1]. Sve više sustavi koji su bili prisutni samo na konvencionalnim zrakoplovima nadograđuju se na bespilotne letjelice te samim time se i proširuje njihova primjena. Kasnih 70ih i ranih 80ih godina digitalna tehnologija omogućuje izgradnju nikad lakših i jeftinijih dronova, gdje Izrael postaje jedna od glavnih zemalja u razvoj bespilotnih letjelica nakon postizanja pobjede nad Sirijskom zračnom snagom uz pomoć dronova.

U 21. stoljeću dronovi postaju osnovni dio vojske sa svrhom prikupljanja informacija, ratovanja, ali i nastaje veliki komercijalni interes. Veliki utjecaj na razvoj dronova imali su i pametni mobiteli sa razvoj sve manjih i jeftinijih procesora, senzora, akcelerometra, itd. Danas se dronovi koriste u razne svrhe a one mogu biti dostava proizvoda, snimanje i mapiranje terena, analizu i nadzor prometa, inspekciju infrastrukture i mnoge druge, a na sljedećoj slici 3 moguće je vidjeti prikaz moderne bespilotne letjelice.



Slika 3. Moderna bespilotna letjelica

Izvor: <https://www.businessinsider.com/>

2.2. Podjela i klasifikacija bespilotnih letjelica

Za bespilotne letjelice ne postoji određeni standard podjele i klasifikacije. Njihova podjela vrši se po karakteristikama koje dronovi dijele ili ne dijele. Općenito ta podjela ili klasifikacija može biti prema veličini, namjeni, konfiguraciji, načinu upravljanja ili nekakvom drugom parametru. Jedna od jednostavnijih podjela dronova može biti prema namjeni, a to su [5]:

1. Dronovi za vojne svrhe – koriste se u svrhu vojnog nadzora kao što su otkrivanje prijetnje, itd.
2. Dronovi za civilne svrhe – mogu biti za komercijalne i nekomercijalne svrhe, a neke od primjena mogu biti snimanje, dostava, itd.

Isto tako postoji podjela dronova prema njihovoj konfiguraciji, a oni mogu biti [6]:

1. UAV s fiksnim krilima (slika 4) – dronovi slični klasičnim zrakoplovima, često se koriste za duže letove u svrhu nadzora, izviđanja i slično.



Slika 4. UAV s fiksnim krilima

Izvor: <https://en.wikipedia.org/>

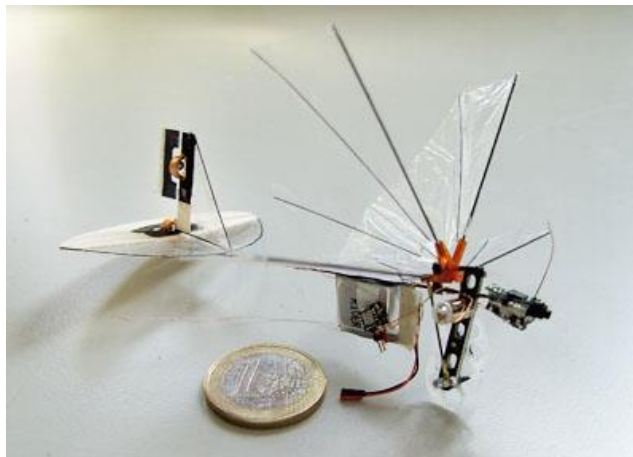
2. UAV s rotirajućim krilima (slika 3) – koriste se za kraće letove, češće se primjenjuju za civilne ili komercijalne svrhe. Mogu biti:
 - vozila s jednim rotorom
 - vozila s više rotora
3. Hibridni UAV (slika 5) – koristi kombinaciju prijašnja dva tipa vozila. Može vršiti horizontalni i vertikalni let.



Slika 5. Hibridni UAV

Izvor: <https://www.technosysind.com/>

4. Dron s lepetanjem krila (slika 6) – dronovi sa krilima inspiriranim od strane ptica ili insekata. Ovaj tip dronova je i dalje u razvoju zbog kompleksnosti dinamike i problema napajanja.



Slika 6. Dron s lepetanjem krila

Izvor: <https://en.wikipedia.org/>

Nadalje, podjela prema načinu upravljanja bespilotnim letjelicama može biti: daljinski upravljana bespilotna letjelica, tele operativna letjelica, polu-autonomna letjelica i autonomna bespilotna letjelica [5]. Isto tako jedna od bitnih podjela, odnosno načina klasifikacije dronova, može biti prema dimenzijama, nosivosti i brzini, a prikazana je sljedećom tablicom 1.

Veličina	Dimenzije (m ²)	Težina (kg)	Brzina (km/h)	Visina (km)	Primjer
Mikro	0.3-0.5	250g	≤10	<0.12	DJI Mavic 3
Mini	0.51-2	<2	<185	<0.4	Astro
Srednji	5-10	<150	<463	<1.1	Vector
Veliki	>10	>150	/	<5.5	Feng Ru 3-100

Tablica 1. Klasifikacija dronova

Izvor: <https://encyclopedia.pub/>

Na kraju klasifikacija dronova prema dometu, odnosno izdržljivosti drona može biti sljedeća [7]:

- UAV vrlo malog dometa (20-45min)
- UAV malog dometa (1-6h)
- UAV kratkog dometa (8-12h)
- UAV srednjeg dometa (>12h)
- Izdržljivi UAV (>=36h)

2.3. Sustavi autonomnog upravljanja bespilotnih letjelica

Kako je prijašnje navedeno postoje četiri vrste autonomnosti bespilotnih letjelica. Daljinski upravljani dronovi koriste udaljenog pilota koji putem upravljača upravlja bespilotnom letjelicom bez ikakve povratne informacije senzora letjelice. Takvi dronovi uglavnom se koriste u vidnom polju pilota. Nadalje, kod tele operativnih dronova, operater ovisi o povratnim informacijama ugrađenih senzora drona a pomicanje vozila bilo izravnim slanjem kontrolnih naredbi ili posrednih ciljeva bez mogućnosti izbjegavanja prepreka [6]. Ovaj način se može koristiti i izvan vidnog polja operatera.

Isto tako postoji polu-autonomna letjelica gdje je ljudski operater potreban za planiranje misije na visokoj razini i za interakciju tijekom kretanja kada su potrebne neke odluke koje UAV nije u stanju donijeti, dok između ovih radnji operatera vozilo može održavati autonomni rad. Na primjer, operater daje popis putnih točaka za vođenje vozila gdje se ono može sigurno kretati prema tim pozicijama uz mogućnost izbjegavanja prepreka [6].

Konačno, postoje potpuno autonomne bespilotne letjelice gdje UAV može izvršiti misiju leta bez intervencije operatera te su sve odluke donesene na temelju senzora prilagođavajući se promjenama u radu i okolišu. Izgradnjom takvih sustava autonomnih bespilotnih letjelica otvaraju se novi okviri za njihovu primjenu u mnogim komercijalnim i nekomercijalnim područjima [6].

2.3.1. Potpuno autonomne bespilotne letjelice

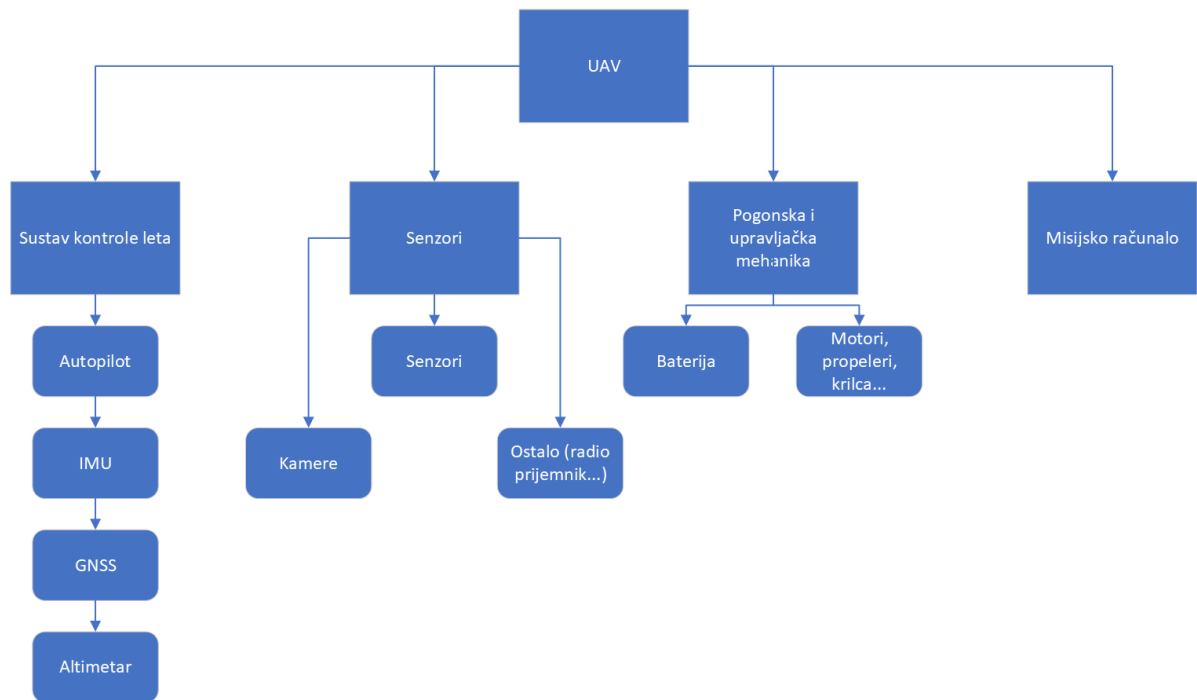
Postizanje potpune autonomnosti bespilotnih letjelica je vrlo kompleksan i zahtjevan problem. Potrebna je integracija najnovijih senzora i operativnih sustava koji bi omogućili letjelici razinu „svjesnosti“ kojom bi mogla donositi potrebne zaključke kako bi postigla zadani cilj. Isto kao i kod autonomnih vozila potrebno je omogućiti način prikupljanja potrebnih informacija iz okoline te mjesto analize i obrade podataka za donošenje odgovarajućih odluka.

Na razini hardvera najjednostavniji sustav sadrži okvir, odnosno tijelo letjelice, pogonski sustav te sustav kontrole leta. Veličina drona te način pogona ovisi o samoj namjeni odnosno misijama koje dron mora izvršavati. Pogonski sustav se sastoji od izvora energije (npr. baterija), pokretača motora ili elektroničkih regulatora brzine, motora, propelera i/ili kontrolne površine (krilca, zakrilca, elevatori i kormila) [6].

Sustav kontrole leta je sustav koji sadrži autopilota, avioniku i drugi hardver izravno povezan s kontrolom leta. Glavni senzori ključni za kontrolu leta uključuju inercijske mjerne jedinice (engl. Inertial Measurement Units - IMU), barometre/visinomjere i GNSS (Globalni navigacijski satelitski sustav). Postojeći komercijalni proizvodi nude kompletne sustave koji kombiniraju ove senzore koji su poznati kao Referentni sustavi smjera položaja (engl. Attitude Heading Reference Systems - AHRSs). Naprednija rješenja primjenjuju kalmanov filtar za spajanje podataka sa svih senzora za pružanje apsolutnih rješenja pozicioniranja, a nazivaju se inercijskim navigacijskim sustavima. Nadalje, postoji komponenta računalna jedinica koja se koristi za implementaciju logike autopilota koja omogućuje pouzdanu i tolerantnu kontrolu leta. Sustav kontrole leta odgovoran je za izračunavanje kontrolnih naredbi niske razine, procjenu stanja vozila na temelju podataka senzora, bilježenje nužnih informacija za analizu leta i povezivanje s komponentama više razine [6].

Isto tako, za složenije namjene dronova moguće je ugraditi računalo veće procesorske snage, odnosno misijsko računalo, kako bi se postigla mogućnost autonomnih operacija. Ovakvom strukturom, misijsko računalo implementira misiju i planiranje kretanja na visokoj razini oslanjajući se na informacije interpretirane iz senzorskih podataka. Također može imati

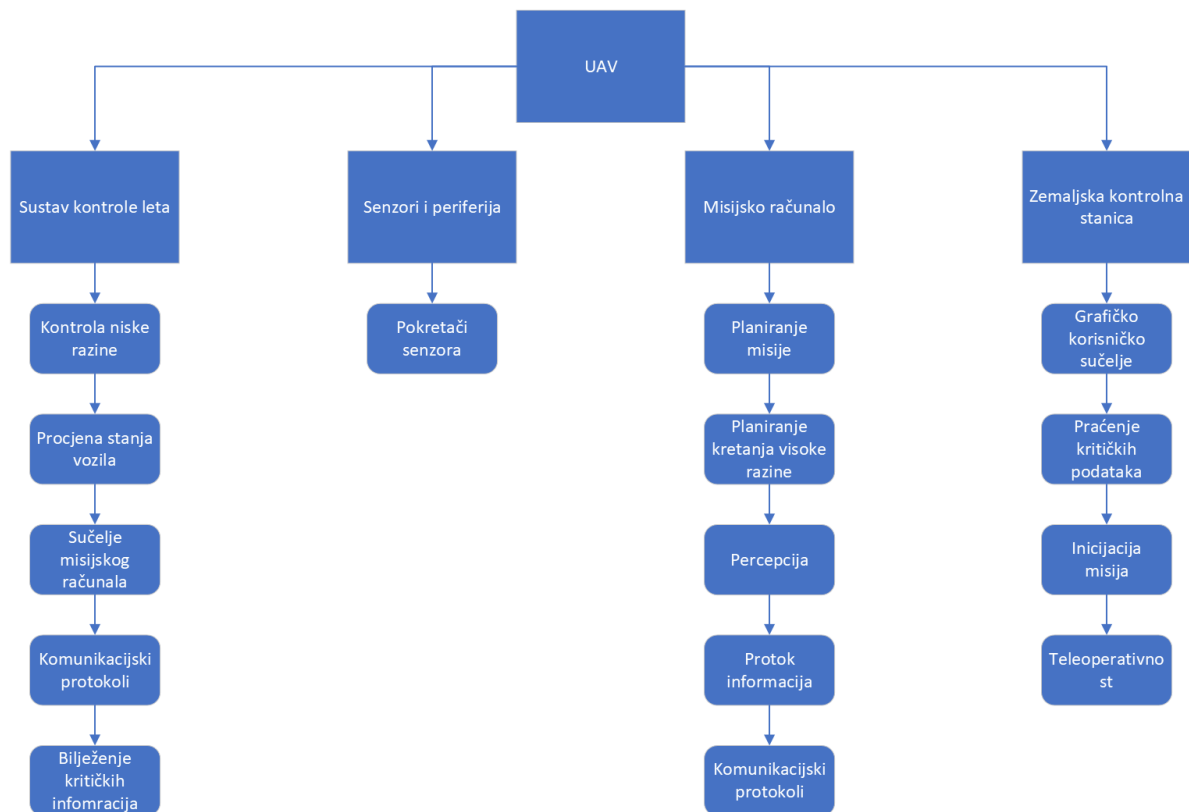
vlastitu komunikacijsku vezu sa zemaljskom kontrolnom stanicom. Na sljedećoj slici 7 dane su hardverske komponente UAV-a.



Slika 7. Hardverske komponente UAV-a

Izvor: <https://www.mdpi.com/>

Isto tako, sljedećim dijagramom na slici 8 prikazana je arhitektura sustava softverskih komponenti često korištenih za UAV.



Slika 8. Softverske komponente UAV-a

Izvor: <https://www.mdpi.com/>

Što se tiče softverske arhitekture autonomnog skupa implementiranog na misijskom računalo obično se sastoji od nekoliko modula koji rade paralelno. Neki od modula povezani s aspektima mobilnosti koji mogu osigurati sigurnu navigaciju koja može biti uobičajena za većinu UAV sustava i drugih autonomnih mobilnih robota. Ostali moduli implementirali bi logiku koja je specifična za samostalno izvršavanje zadataka bespilotnih letjelica. Moduli vezani za mobilnost ključne su komponente potrebne za provođenje sigurne navigacije u svim primjenama. Uzimajući u obzir samo komponente povezane s mobilnošću, prihvaćena je popularna modularna struktura za autonomnu navigaciju koja se sastoji od sljedećih modula [6]:

- Percepcija
- Mapiranje i lokalizacija
- Planiranje kretanja i izbjegavanje prepreka
- Kontrola

2.3.2. Tehnike navigacije bespilotnih letjelica

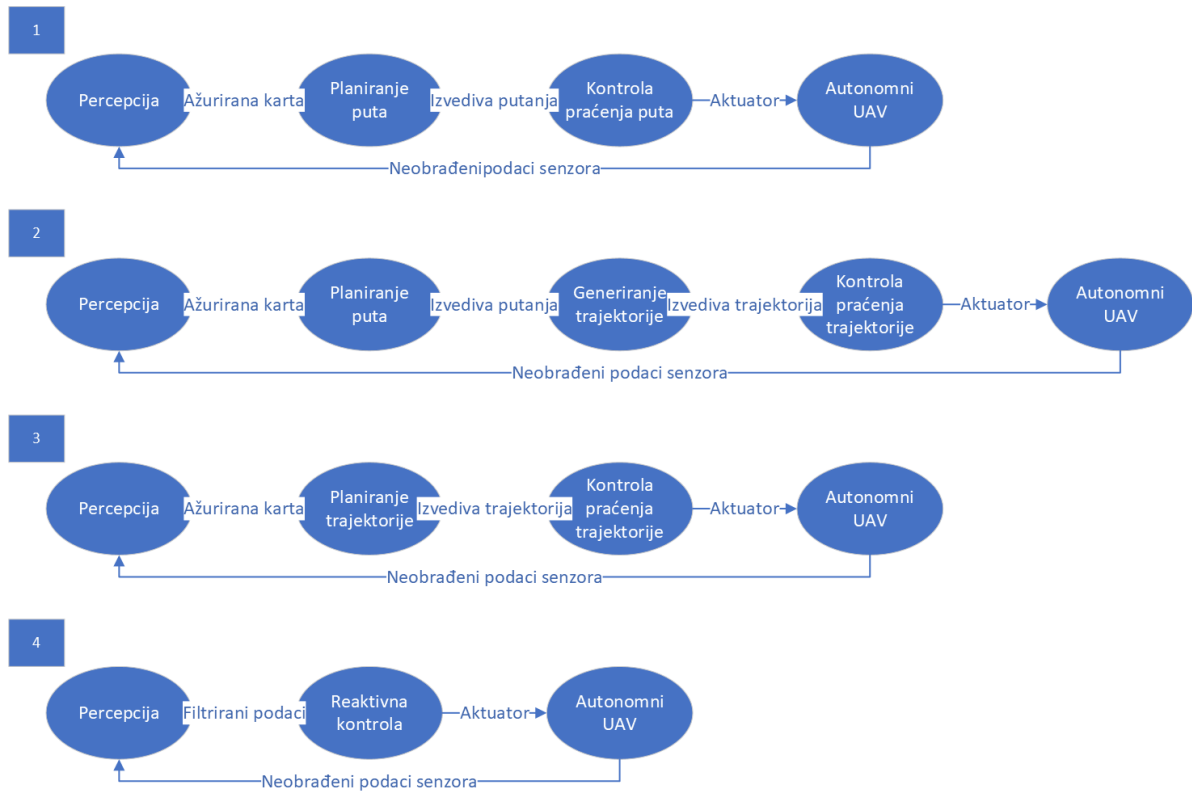
Jedan od bitnih dijelova autonomne navigacije je osigurati sigurno kretanje izbjegavanjem sudara. To je jedan od generalnih problema robotike koji se može riješiti planiranjem kretanja ili reaktivnim upravljanjem. Općenito, problem planiranja kretanja može se grubo opisati kao pokušaj pronalaženja trajektorija bez sudara između početne i konačne konfiguracije uz zadovoljavanje nekih kinematičkih i dinamičkih ograničenja. Konfiguracija se u ovom slučaju odnosi na položaj i orijentaciju bespilotne letjelice gdje je konfiguracijski prostor skup svih mogućih konfiguracija. Odvojeni pristupi koriste planer kretanja za generiranje izvedivih planova bez sudara, dok integrirani pristupi kombiniraju planiranje kretanja s reaktivnom kontrolom za izbjegavanje prepreka na temelju mjerenja senzora. Izrazi „izbjegavanje sudara“ i „izbjegavanje prepreka“ koriste se za razlikovanje između izbjegavanje drugih vozila i statičkih/dinamičkih prepreka. Nadmorska visina i okoliš također diktiraju koji se pojam koristi. Izbjegavanje prepreka se više koristi u okruženjima sa puno prepreka ili zatvorenom prostoru [6].

Tehnike navigacije autonomnih bespilotnih letjelica mogu se podijeliti u sljedeće klase: globalno planiranje, lokalno planiranje ili hibridno planiranje. Globalno planiranje zahtijeva korištenje karte te može služiti za traženje sigurne i optimalne rute koristeći razne algoritme poput dijekstrinog algoritma, genetskih algoritama, itd. S druge strane lokalno planiranje se oslanja na trenutna mjerenja senzora letjelice te bliskoj povijesti senzorskih opažanja okoline kako bi se osigurala sigurna putanja. Takav način planiranja odličan je za nepredvidive odnosno dinamične terene. Konačno hibridno planiranje kombinira globalno i lokalno planiranje kako bi izvuklo prednosti obje klase. Dok postoji globalni optimalni put letjelica bi imala sposobnost prilagođavanja rute dinamičkoj okolini [6].

Isto tako navigacijske metode mogu se svrstati u pristupe koji se temelje na karti ili bez karte. Metode temeljene na karti zahtijevaju lokalni prikaz okoline na karti koji se može dati prije početka navigacije ili izgraditi tokom navigacije koristeći senzore te se pomoću globalnih/lokalnih algoritama mogu pronaći sigurne rute. Mana ovakve metode je zauzeće memorije i računalnih resursa. Naprotiv, metode bez karte oslanjaju se izravno na mjerenja senzora za donošenje odluka o kretanju bez potreba za održavanjem globalnih karata i točne lokalizacije.

Iz perspektive kontrole dronova, usvojene su različite strukture za rješavanje navigacijskog problema. Postojeće metode mogu se kategorizirati u sedam različitih kontrolnih struktura kao što je prikazano na dijagramu X. Strukture 1-3 prikazuju opći razdvojeni pristup gdje su

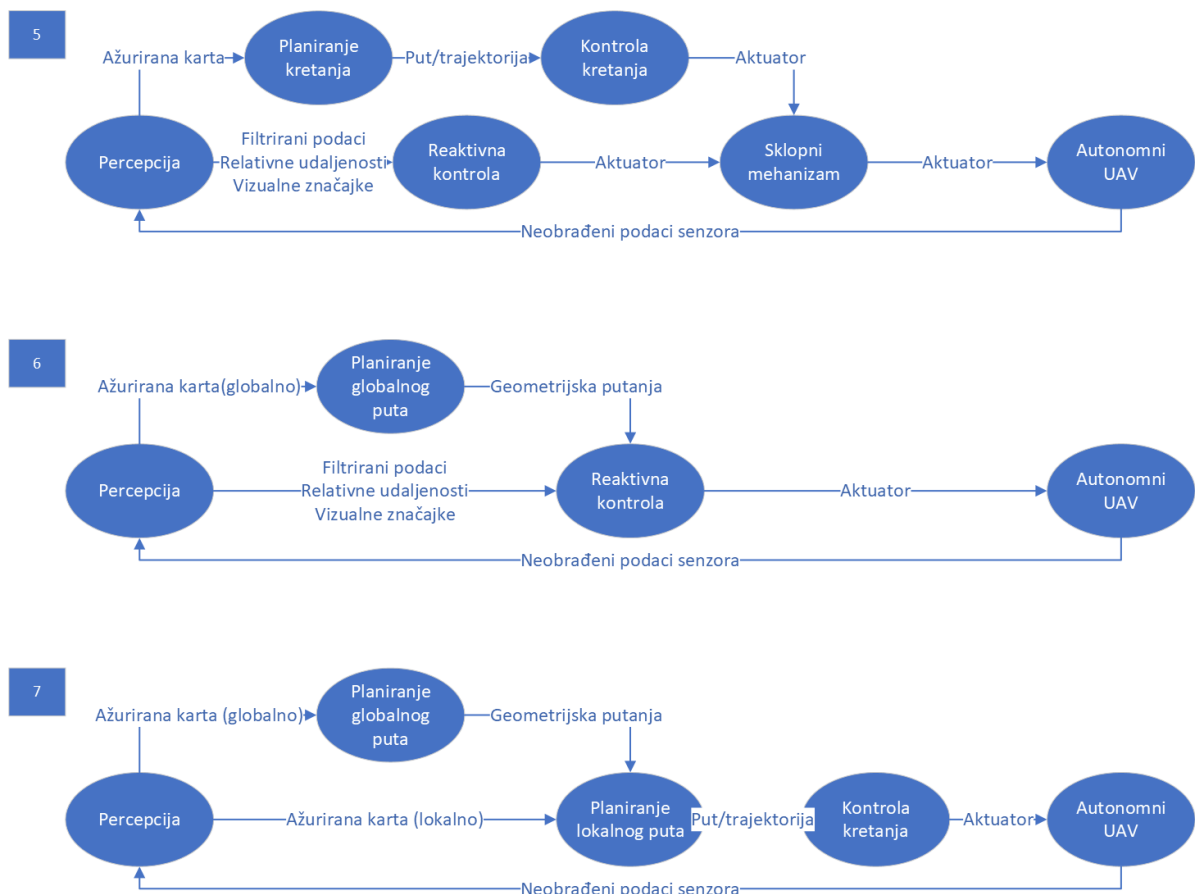
planiranje kretanja i kontrola odvojeni, dok struktura 4 prikazuje reaktivni pristup koji izravno spajaju planiranje i kontrolu. Konačno strukture 5-7 odgovaraju hibridnim pristupima koji mogu biti kombinacija struktura 1-4. Sljedeća slika 9 prikazuje strukture od 1 do 4.



Slika 9. Kontrolne strukture bespilotnih letjelica 1-4

Izvor: <https://www.mdpi.com/>

Nadalje, na slici 10 prikazane su ostale kontrolne strukture od 5 do 7.



Slika 10. Kontrolne strukture 5-7

Izvor: <https://www.mdpi.com/>

U kontekstu dijagrama, planiranje puta je proces pronalaženja geometrijskog puta bez sudara između početne i krajnje pozicije bez vremenskog uvjeta. S druge strane, planiranje trajektorije, vremenski uvjet je povezan s planiranim geometrijskim putem bez sudara predstavljenom kao trajektorija koja uključuje informacije o višim derivativima (ubrzanju, brzini, itd.). Konačno reaktivna kontrola je takva kontrola koja se fokusira na generiranje trenutačnih odgovora na temelju mjerenja senzora i povratnim informacijama iz okoline [6].

3. PODRUČJA PRIMJENE AUTONOMNIH BESPILOTNIH LETJELICA U PROMETU

U 21. stoljeću, kako je došlo do velikog razvitka tehnologije bespilotnih letjelica, njihova primjena prestaje biti samo za vojne operacije, već se otvaraju područja primjene u raznim industrijskim sektorima. Tomu je i zaslužan napredak IoT (engl. Internet of Things) i 5G tehnologija kojima se omogućila brza razmjena informacija između pametnih uređaja koji poboljšavaju upravljanje i preciznost bespilotnih letjelica.

Dok postoji veliki broj primjene dronova u rekreacijske svrhe poput utrkivanja ili snimanja zanimljivih videa i slika za društvene mreže, njihova primjena postaje sve izraženija u komercijalne svrhe. Neka od područja primjene mogu biti [8]:

- Praćenje i nadzor
- Upravljanje katastrofama
- Daljinsko očitavanje
- Potraga i spašavanje
- Inspekcija infrastrukture
- Precizna poljoprivreda
- Nadzor prometa u stvarnom vremenu
- UAV za automatiziranu obnovu šuma
- Inspekcija nadzemnih vodova
- Dostava
- Itd.

Ovim radom cilj je istražiti područja primjene autonomnih bespilotnih letjelica u prometu. Neke od takvih primjena mogu biti područje cestovne sigurnosti, nadzor i upravljanje prometom te upravljanje infrastrukturom prometnica (autocesta).

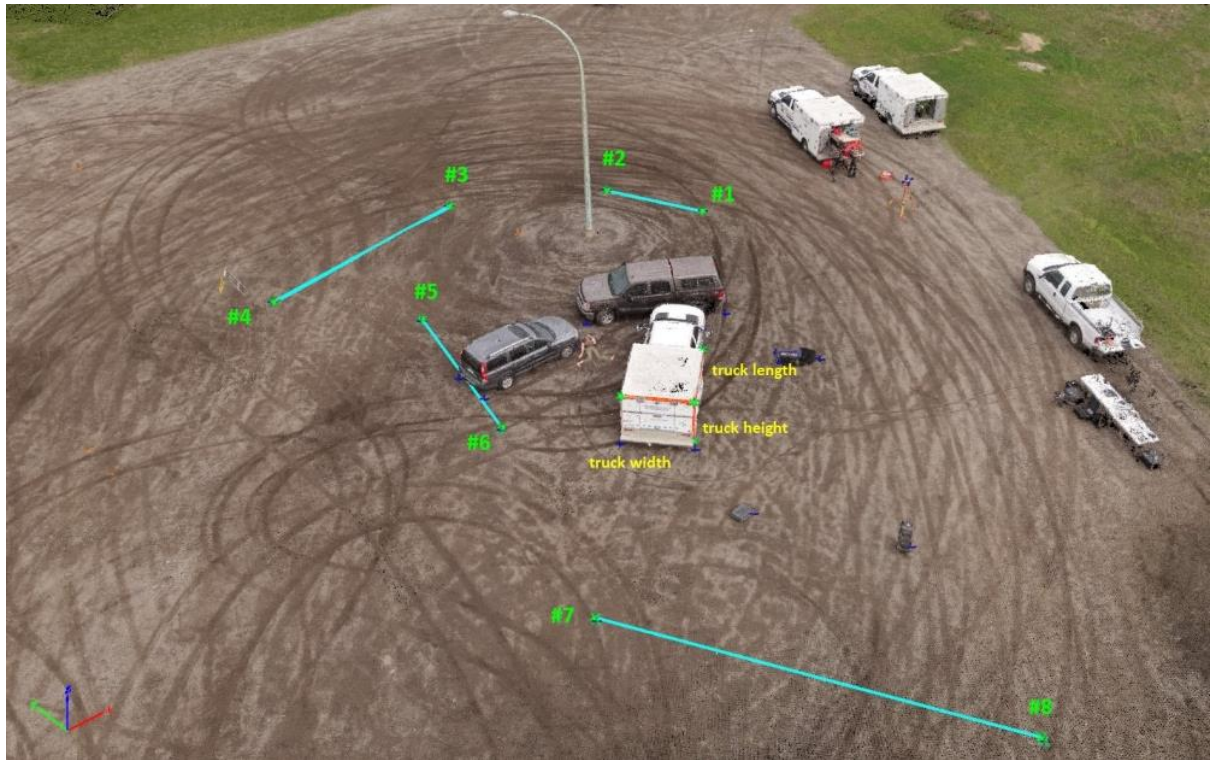
3.1. Primjena autonomnih bespilotnih letjelica u području cestovne sigurnosti

Primjena dronova u području cestovne sigurnosti sadržavala bi detaljnu analizu prometne nesreće, procjenu rizika i detekcija i upravljanje prometnim nesrećama. Analiza prometne nesreće opisuje načine i metode rekonstrukcije nesreće, a pod procjenu rizika spadaju otkrivanje potencijalnih konfliktnih točaka, zahtjevni manevri promjene trake, itd. Velika prednost koju bi dronovi mogli pružati jest brza detekcija prometnih nesreća i upravljanje prometom u takvim situacijama.

Za analizu prometne nesreće kao pomoć se koristi generiranje scene na temelju fotogrametrije koja se proučava još od 1990-ih. Razvojem tehnologije za upravljanje dronom, razvojem opreme dronova poput kamera i senzora te raznih softverskih alata, danas je vrlo lako moguće napraviti potpunu 3D rekonstrukciju mjesta nesreće. Samim time moguće je dovesti prometnu situaciju u normalu u puno kraćem roku, a naknadno izvršiti detaljnu analizu i uzrok prometne nesreće koristeći odgovarajuće softverske alate. Predloženi sustavi za izvršavanje ove radnje opisan je sljedećim koracima [9]:

- Planiranje leta i kontrola UAVA
- Prikupljanje video sadržaja mjesta nesreće koristeći UAV
- Prijenos video sadržaja na zemaljsku stanicu
- Procesiranje slika
- Primjena i validacija sustava, okvir za mjerenje točnosti

Dok se istraživanjima pokazala efektivna i razumna točnost rekonstrukcije mjesta nesreće, daljnjim napretkom tehnologije i metoda rekonstrukcije mogla bi dovesti do svakodnevne primjene ovakvog alata. Na sljedećoj slici moguće je vidjeti primjenu drona za analizu prometne nesreće.



Slika 11. Primjena bespilotnih letjelica za inspekciju prometnih nesreća

Izvor: [Drones in Accident Reconstruction: How Drones Can Help \(uavcoach.com\)](https://uavcoach.com)

Nadalje, procjena rizika kao dio područja primjene dronova u području sigurnosti cesta opisuje način kako se dronovi mogu primijeniti za otkrivanje već postignute prometne nesreće kako bi odaziv na situaciju bio žurniji. Isto tako zbog same mobilnosti drona postoji prednost nad statičnim kamerama gdje dronovi imaju bolju percepciju prometne mreže, čime se prikupljanjem podataka sa video snimaka mogu procijeniti kritične trajektorije vozila koje bi mogle ukazati na kritičnu točku. Upravo na ekstrakciju putanja vozila korištenjem video podataka izvršeni su istraživački napori kako bi se analizirao rizik sudara povezan s obveznom promjenom voznog traka na područjima spajanja autocesta. Predložena je metoda kojom se mjeri rizik od sudara između vozila koje se spaja i okolnih vozila procjenom modela ponašanja pri spajanju koji uključuje vrijeme do sudara. Isto tako jedna od primjena bi mogla biti detektiranje abnormalne vožnje koja bi mogla biti rizična za normalno odvijanje prometa [9].

3.2. Primjena autonomnih bespilotnih letjelica za nadzor i upravljanje prometom

Primjena dronova za nadzor i upravljanje prometa fokusira se na sakupljanje prometnih parametara koristeći video analizu naknadnom obradom ili obradom u stvarnom vremenu kako bi se mogla pružiti bolja rješenja prometnih zagušenja, itd. Dosadašnja istraživanja su ulagala napore na istraživanje metoda i algoritama za vađenje bitnih filtriranih podataka iz video podataka. Pod parametre neki od glavnih mogu biti putanja vozila, brzina, slijed vozila,

zagušenje, itd. Na sljedećoj slici 12 moguće je vidjeti obradu video podataka prikupljenih od strane bespilotne letjelice.



Slika 12. Obrada video podataka prikupljenih bespilotnom letjelicom

Izvor: <https://www.gim-international.com/>

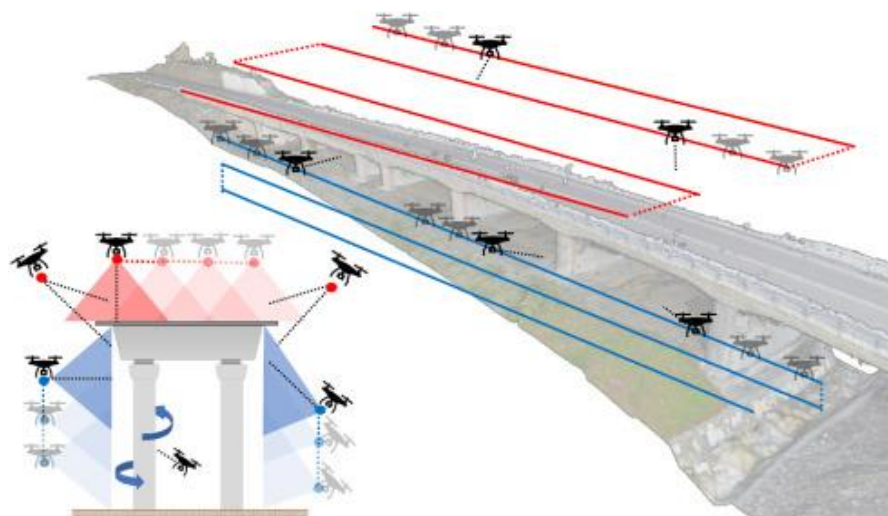
Raznim istraživanjima korišteni su različiti dronovi te drukčije algoritme procesiranja videa kao što su ekstrakcija značajki slike, razlike okvira, metode oduzimanja pozadine koje se koriste u različitim ključnim procesima kao što su stabilizacija, detekcija vozila i praćenje vozila. Iako su sve studije provedene na naknadnoj obradi podataka smatra se kako bi se izvođenje parametara u realnom vremenu moglo izvesti. Takvi sustavi bi slali prikupljenu snimku zemaljskoj stanici gdje bi video snimka bila procesirana u realnom vremenu i vraćala tražene podatke [9]. Kada se sagleda šira slika, prikupljanjem takvih podataka u realnom vremenu, mogli bi se slati u centar za upravljanje prometom gdje bi se prometna situacija mogla prilagođavati s obzirom na potražnju. Recimo da nastane zagušenje na pojedinom raskrižju, detekcijom bi se mogao preusmjeriti nadolazeća vozila ili adaptirati signalni plan semafora. Isto tako mogla bi postojati mogućnost usmjerenja vozila na slobodna parkirališta kako bi se stvarale manje nepotrebne gužve.

Također, detaljnom analizom pojedinog raskrižja mogli bi se utvrditi postojeći problemi, poput stvaranja repova čekanja, propusnosti raskrižja, itd. Samim time bilo bi lakše odrediti da li je postojeće rješenje za upravljanje raskrižjem, poput semafora, kružnog toka, itd., dobro rješenje, odnosno postoji li potreba za bilo kakvim unapređenjem ili potpunom rekonstrukcijom raskrižja [9].

3.3. Primjena autonomnih bespilotnih letjelica za održavanje prometne infrastrukture

Jedna od također bitnih, odnosno mogućih koristi koje se mogu postići sa primjenom bespilotnih letjelica jest inspekcija prometne infrastrukture, kako autocesta, ili prometnica u gradu, tako i mostova, vijadukta ili čak infrastrukture bitne za povećanje sigurnosti cesta poput ograda, širina cesta, itd. Isto tako otvara se primjena dronova za projektiranje novih prometnica na način da se ili prikupe snimke u 2D prikazu, odnosno digitalni ortofoto, ili izrada 3D prikaza terena pomoću kojeg bi bilo lakše dizajnirati cestu za promatrano područje. Postojećim istraživanjima pokazalo se kako korištenjem Phantom 3 Pro drona, te alatom za procesiranje slika UAV Agisoft PhotoScan, moguće dobiti x, y, z koordinate svih točaka promatranog terena, gdje se u usporedbi sa tradicionalnim metodama pokazalo kako pogreška iznosi do oko $\pm 0.2\text{m}$ [9].

U slučajevima primjene dronova za inspekciju mostova provedeno je nekoliko eksperimenata u kontroliranim uvjetima za testiranje utjecaja vjetera na bespilotnu letjelicu. Isto tako kroz nekoliko provedenih letova testirala se razina kvalitete slike, visina na kojoj bi bespilotna letjelica mogla operirati te pod kojim opterećenjem. Generalno se pokazalo kako rezultati idu u korist primjene ovakve tehnologije za inspekciju mostova [9]. Dobitak ne bi bio samo u uštedi vremena već u razini količine otkrivenih oštećenja na teško dostupnim mjestima ljudima. U svemu tome smanjila bi se potreba ograničenja prometa prilikom ovakvih inspekcija te ušteda na opremi poput liftova ili skela. Osim skupa slika postoji i mogućnost konstrukcije 3D modela mosta za još lakšu analizu. Na sljedećoj slici 13 moguće je vidjeti područje koje bi se moglo zahvatiti jednim letom drona.



Slika 13. Inspekcija mostova bespilotnom letjelicom

Izvor: <https://www.sciencedirect.com/>

Algoritmi i metode koji su se pokazali učinkovitim u raznim prethodnim istraživanjima su [9]:

1. Gaussov algoritam piramide slika – algoritam pruža pojačane rezultate za otkrivanje pukotina u strukturi mosta te nadvladava tradicionalne algoritme za otkrivanje rubova koji zahtijevaju prag kada je razmjer slike nepoznat.
2. Metoda središnje točke pukotine – rješava nedostatke tradicionalnih algoritama kao što su Prewitt, Canny i Sobel algoritam. Metoda koristi karakteristike prijeloma u prethodno obrađenim slikama za otkrivanje pukotina bez interferencije šuma.
3. Model dubokog učenja u kombinaciji sa slikama UAVa – prikupljanjem slika visoke rezolucije pomoću kamere i infracrvene termografske kamere koriste se za treniranje duboke neuronske mreže za klasifikaciju oštećenja i procjenu stanja.

Osim inspekcije mostova, dronovi bi se mogli koristiti kako bi se utvrdilo stanje kolnika, odnosno otkrivanje bilo kakvih rupa i ostalih oštećenja ceste. Osim toga moguće je utvrditi stanje sigurnosne infrastrukture na cestama poput zaštitnih ograda ili nedostajuće horizontalne i vertikalne prometne signalizacije. Uz to pregled infrastrukture autocesta bio bi znatno olakšan zbog mogućnosti brzog leta i pokrivanjem velike površine drona u samo jednom letu. Pored toga mogla bi se i izvršavati inspekcija okoliša odnosno bilo kakvog prirodnog objekta koji bi mogao izravno poremetiti izvršavanje prometa na autocestama.

4. INTEGRACIJA BESPILOTNIH LETJELICA U POSTOJEĆE ITS INFRASTRUKTURE

Stvaranjem novih tehnologija dolazi do istraživanja novih načina njihove primjene za unapređenje postojećih zastarjelih sustava. U kontekstu prometa, za stvaranje novih inovativnih i inteligentnih rješenja zaslužna je grana prometa inteligentni transportni sustavi. Inteligentni transportni sustav (ITS) je holistička, upravljačka i informacijsko-komunikacija nadogradnja klasičkog sustava prometa i transporta kojim se postiže znatno poboljšanje performansi, odvijanje prometa, učinkovitiji transport putnika i roba, poboljšanje sigurnosti u prometu, udobnost i zaštita putnika, manja onečišćenja okoliša, itd [10]. Temeljni koncept ITS-a je da se stvori takva infrastruktura koja se temelji na kooperacijskom djelovanju sudionika prometa i same infrastrukture korištenjem nove tehnologije. Velikim tehnološkim napretkom bespilotnih letjelica otvaraju se mogućnosti njihove integracije u takve ITS infrastrukture.

Integracija bespilotnih letjelica u ITS infrastrukturu mogao bi biti značajan korak prema ostvarenju inovativnog, sigurnijeg i učinkovitijeg prometnog okruženja. Same karakteristike bespilotnih letjelica, poput proširenih nadzornih sposobnosti te u sklopu sa komunikacijskim tehnologijama, mogle bi pružiti brojne prednosti za koordinaciju, upravljanje i interoperabilnost s drugim transportnim sustavima i uslugama. Naravno, integracija autonomnih bespilotnih letjelica u ITS infrastrukturu zahtijeva usklađivanje s postojećim komunikacijskim mrežama, kontrolnim sustavima, nadzornim centrima i drugim komponentama ITS-a kako bi se omogućila koordinacija, upravljanje i interoperabilnost s drugim transportnim sredstvima i uslugama. Uz istraživanje tehničkih aspekata za integraciju autonomnih bespilotnih letjelica, potrebno je istražiti njihove prednosti te koje su značajke postojeće ITS infrastrukture.

4.1. Struktura postojećih ITS infrastrukture

ITS infrastruktura se sastoji od mnogo raznih komponenata koji zajedno omogućavaju poboljšanje općenitog djelovanja prometa. Postoji širok raspon ITS infrastrukture koja su specifična za određenu funkciju te dodatnim razvojem tehnologija dolazi i do samog daljnjeg razvoja takvih infrastrukture. Neke od osnovnih komponenata ITS infrastrukture mogu biti [11]:

1. Senzori – služe za detekciju vozila i prikupljanje raznih prometnih parametara. Senzori mogu biti statične kamere, magnetski detektori, itd.

2. Komunikacijske mreže – služe za omogućavanje komunikacije svih komponenti ITS infrastrukture kako bi se omogućila razmjenjena informacija, preporuka ili čak naredbi. Kao medij za prijenos informacije mogu se koristiti žičane ili bežične mreže poput 5G mreža ili čak bluetooth.
3. Sustavi za pružanje informacija korisnicima – takvi sustavi bi trebali, na temelju prikupljenih informacija, pružati korisne informacije korisnicima za lakše, udobnije i sigurnije odvijanje prometa. Takvi sustavi mogu biti web stranice, mobilne aplikacije, itd.
4. Kontrolni sustavi – sustavi koji služe za upravljanje prometom, odnosno izriču pravila prednosti, daju upozorenja, itd. U takve sustave spadaju adaptivni semafori, promjenjivi prometni znakovi, itd.
5. Nadzorni centar – dio infrastrukture koji služi za nadzor prometa, obradu podatak prikupljenih putem senzora te upravljanje prometom ovisno o situaciji putem kontrolnih sustava.
6. Telematički sustavi u vozilima – sustavi u vozilima koji pružaju udobniju, sigurniju i ekonomičniju vožnju za korisnike. Neki od sustava su adaptivni tempomat, parkirni senzori, itd.

Nadalje, razvijen je dobar broj ITS infrastruktura koje je moguće ili već jesu u primjeni u pojedinim dijelovima svijeta. Neki od popularnijih ITS infrastruktura su: sustav pametnih semafora, inteligentni sustav naplate cestarine, dinamički sustav za upravljanje prometom, pametni sustav parkiranja, a postoje i mnogi drugi. Kao primjer primjene jednog od ovakvih ITS rješenja možemo uzeti grad Rijeku u Republici Hrvatskoj. U 2020. godini grad je opremljen sa pametnim semaforima na šest raskrižja na zapadnom dijelu grada [12]. Ideja je da se ciklusi semafora izmjenjuju, odnosno prilagođavaju stvarnom broju vozila koja prolazi kroz raskrižje. Takav sustav djeluje pomoću nekih od prijašnje navedenih osnovnih komponenti ITS infrastrukture. Na ulazima u raskrižje postavljeni su senzori, odnosno video detektori, koji prepoznaju vozila, a takve prikupljene podatke obrađuje računalo koje regulira cikluse izmjene prometnih svjetala. Isto tako takav sustav semafora omogućuje puni daljinski nadzor i upravljanje radom semaforiziranih raskrižja iz Gradskog prometnog centra te se time postiže poboljšana protočnost prometa i povećana sigurnost svih sudionika u prometu.

Sa svim u vezi pitanje je za koje se takve ITS infrastrukture smatra da bi autonomna bespilotna letjelica doprinosila boljem funkcioniranju cijele infrastrukture. Isto tako bitno je sagledati kako bi se postigla integracija takvih letjelica u takve infrastrukture.

4.2. Prednosti i mane integracije autonomnih bespilotnih letjelica

Prije integracije bilo kakve nove tehnologije u neakve postojeće sustave potrebno je prije svega sagledati koje su dobiti takve tehnologije u usporedbi sa tehnologijom koja je već u primjeni. U slučaju integracije bespilotnih letjelica u postojeće ITS infrastrukture, zamjenjuju se postojeći senzori poput statičnih nadzornih kamera, induktivnih petlja i ostalih detektora koji se postavljaju za prikupljanje prometnih parametara na temelju kojih se izvršava upravljanje prometom. Problem kod korištenja takvih senzora je količina potrebna za detekciju svih prilaza jednog četverokrakog raskrižja, pogotovo ako postoji više od jedne trake po smjeru ili postoji više raskrižja koje je potrebno nadzirati. Autonomne bespilotne letjelice, u usporedbi sa postojećim sustavima za nadziranje prometa, imaju sljedeće prednosti [13]:

- Financijski isplativ
- Šira pokrivenost
- Mobilnost
- Kvaliteta informacije
- Višenamjenska upotreba
- Brza implementacija

Integracija bespilotnih letjelica u ITS infrastrukturu može biti financijski isplativija u odnosu na tradicionalne sustave. Troškovi postavljanja, održavanja i broj osoblja bi bili niži, a učinkovitost i kvaliteta sadržaja bi bila povećana. Isto tako zbog moguće mobilnosti letjelice moguće pokriti šire područje samo sa jednom bespilotnom letjelicom, a iz istog razloga je moguća i višenamjenska upotreba jedne bespilotne letjelice. Velika je prednost kvaliteta informacija koje bi se prikupljale pomoću bespilotnih letjelica zbog boljih kamera koje radu u kombinaciji sa ostalim sensorima. Iz takvih razloga primjena dronova doprinijela bi u povećanju kvalitete upravljanja prometom te povećanju sigurnosti zbog mogućnosti bolje percepcije i pokrivenosti šireg područja prometne mreže.

Naravno kako postoje prednosti, tako postoje i neka ograničenja koja je potrebno prevladati, a ona su [13]:

- Dostupnost i financiranje
- Tehnička ograničenja
- Utjecaj vremenskih neprilika
- Regulativni okvir
- Sigurnost
- Pitanja privatnosti

Iako je prijašnje navedeno kako postoji financijska isplativost kod primjene bespilotnih letjelica to može ovisiti o geografskom području, jer dostupnost bespilotnih letjelica nije jednaka u svakom dijelu svijeta. Isto tako u slučaju potrebe dugotrajnog nadzora pojedinog raskrižja primjena bespilotnih letjelica mogla bi se pokazati financijski neisplativa naspram tradicionalnih metoda zbog tehničkih ograničenja letjelice. Tehnička ograničenja letjelica su trajnost baterije, gdje u prosjeku nije moguće postići let duži nego 30 minuta. Isto tako zbog visoke kvalitete video sadržaja postoji ograničeno vrijeme snimanja video zapisa. Također zbog ograničenja nosivosti letjelice nije moguće postavljati puno dodatne opreme. S tim u vezi za dugotrajnu primjenu bespilotnih letjelica u nadzoru prometa potrebno je osigurati više bespilotnih letjelica i opreme poput punjača i baterija, što može dovesti do većih financijskih ulaganja [13].

Bespilotne letjelice su također jako podložne atmosferskim uvjetima gdje u slučaju lošeg vremena poput, velikih oborina, jakog naleta vjetra i sličnog, bespilotna letjelica ne može izvršavati let. Nadalje, postoje pitanja sigurnosti primjene velikog broja bespilotnih letjelica, jer kako se popunjava nebo iznad naseljenih mjesta postoji opasnost sudara ili kvara letjelice čime se može uzrokovati materijalna šteta na grad ili u najgorem slučaju teške posljedice na stanovnike grada. Uz pitanja sigurnosti postoje i pitanja privatnosti gdje se stvara zabrinutost javnosti u slučaju loše regulacije primjene tehnologije. Na kraju posljednja mana primjene bespilotnih letjelica je regulatorni okvir gdje je potrebno definirati pravila korištenja, operativne parametre, dozvole leta i sigurnosne standarde. Iako već postoje regulacije koje je za područje Europske unije donijela agencija za zrakoplovnu sigurnost Europske unije, postoje izazovi u usklađivanju zakonodavstva.

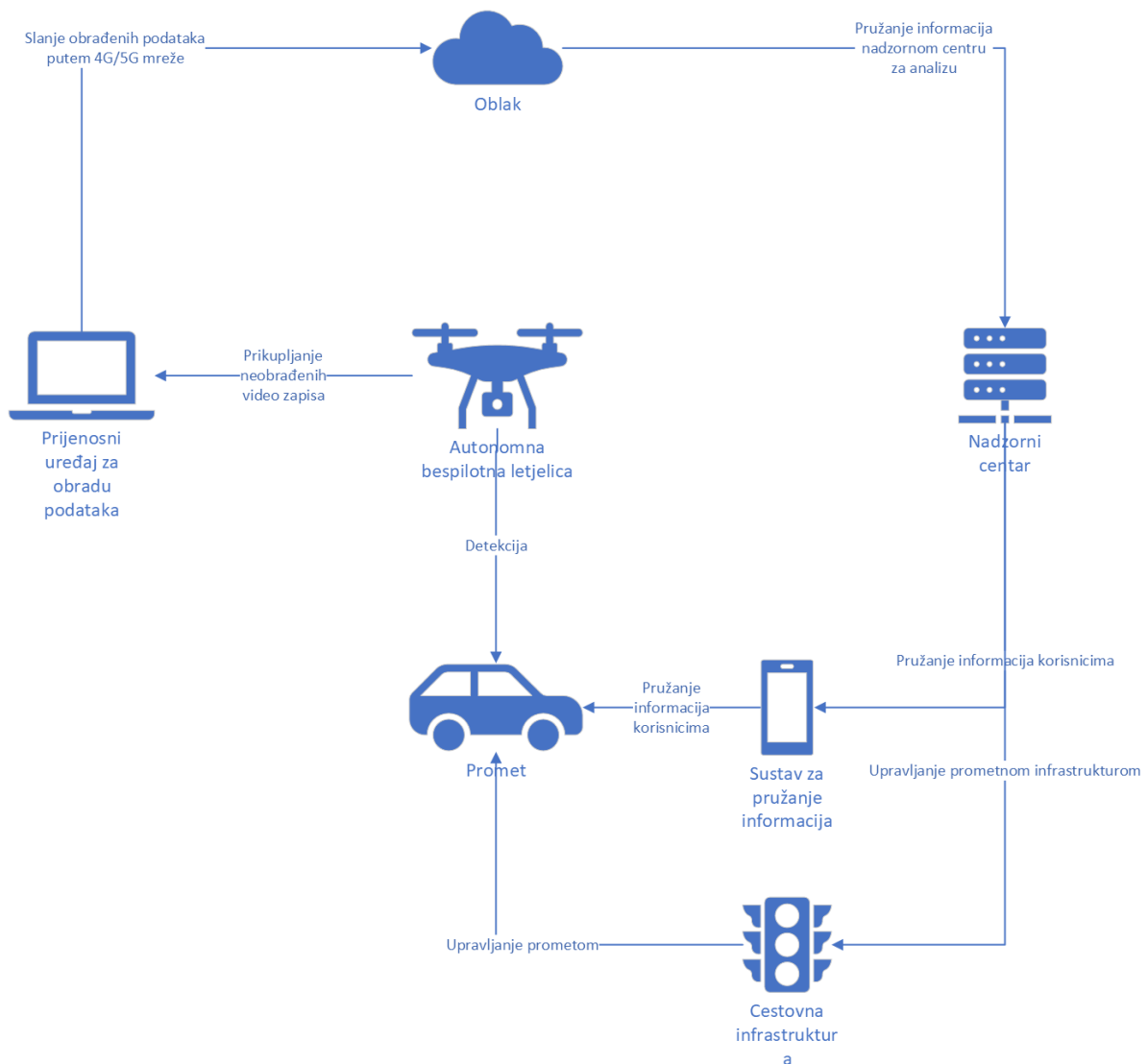
4.3. Integracija autonomnih bespilotnih letjelica u postojeće ITS infrastrukture

Kako bi uspješno integrirali autonomnu bespilotnu letjelicu u postojeću ITS infrastrukturu potrebno je sagledati komponente infrastrukture koje letjelica zamjenjuje ili s kojima mora imati kooperativni odnos za uspješno funkcioniranje cijelog sustava. Kako je navedeno u poglavlju 4.1. Postojeće ITS infrastrukture, neke od osnovnih komponenti ITS infrastrukture su senzori, komunikacijske mreže, sustavi za pružanje informacija korisnicima, kontrolni sustavi, nadzorni centri i telematički sustavi u vozilima.

Autonomna bespilotna letjelica integrirala bi se u ITS infrastrukturu kao senzor koji zamjenjuje tradicionalne senzore. Takva bespilotna letjelica trebala bi biti opremljena na odgovarajući način kako bi se postigla potpuna integracija sa svim komponentama koje su potrebne za djelovanje ITS infrastrukture. DataFromSky je kompanija nastala 2013. godine kao rezultat istraživačkog projekta koja nastoji revolucionirati industriju prometa koristeći bespilotne letjelice za analizu prometnih parametara [14]. TrafficDrone je proizvod DataFromSky koji može poslužiti kao idealan primjer potrebnih komponenti bespilotne letjelice za integraciju u postojećim ITS infrastrukturama.

TrafficDrone koristi visokokvalitetnu kameru kao senzor za detekciju objekata, odnosno za pružanje neobrađenih informacija [15]. Za mogućnost točnog kretanja, bilo prethodno definiranom rutom ili za moguće izmjene u kretanju koristi GPS prijemnik i senzore koji omogućuju stabilnost poput žiroskopa, itd. Bespilotna letjelica je povezana s prijenosnim uređajem odnosno računalom koje služi za prikupljanje, obradu i prijenos podataka sa senzora letjelice. Konačno, letjelica mora imati mogućnost stvaranja komunikacijske veze, u ovom slučaju bežične komunikacije poput 4G ili 5G mreže za mogućnost prijenosa podataka u oblak radi daljnje analize parametara. Osim svega toga TrafficDrone pruža napredne alate bazirane na tehnologiji umjetne inteligencije koji služe za obradu podataka u realnom vremenu, te opremu za postizanje neograničenog leta bespilotne letjelice, ali u krugu do 70 metara, što bi moglo poslužiti za dugotrajnu analizu pojedinog raskrižja, kao primjer.

Definiranjem tehničkih komponenti bespilotne letjelice, potrebno je uklopiti letjelicu sa komunikacijskim mrežama ITS infrastrukture, integrirati je sa nadzornim centrom prometa te omogućiti kooperativno djelovanje sa ostalim komponentama ITS infrastrukture. Sljedeća slika 14 daje prijedlog osnovnih komponenti ITS infrastrukture sa integriranom bespilotnom letjelicom te je opisan protok informacija.



Slika 14. Prijedlog osnovnih komponenti ITS infrastrukture sa integriranom bespilotnom letjelicom

Navedenim prikazom pokazuje se tok informacija i komunikacija komponenti osnovne ITS infrastrukture. Autonomna bespilotna letjelica detekcijom željenog prometnog parametra šalje neobrađene podatke u lokalni prijenosni uređaj za obradu podataka. Obradom prikupljenih parametara putem komunikacijske žičane ili bežične mreže poput 4G/5G mreža informacije se šalju dalje u oblak kojemu može pristupiti nadzorni centar u svrhu analize obrađenih podataka. Samom analizom nadzorni centar može prošiti potrebite informacije korisnicima u prometu te dodatno prilagoditi ili usmjeriti djelovanje prometa. Cilj je postići analizu prometne situacije u stvarnom vremenu te prilagoditi način vođenja prometa sukladno tomu. Naravno ovakva infrastruktura je konceptualnog dizajna i, dok generalno opisuje kako bi infrastruktura mogla djelovati, mogu postojati varijacije ovisno o potrebi ITS infrastrukture.

Kao primjer za integraciju autonomnih bespilotnih letjelica u ITS infrastrukturu može se uzeti sustav za otkrivanje slobodnih parkirnih mjesta. Postojeći sustavi koriste senzore koji mogu biti ugrađeni u sam pločnik ili postavljeni iznad svakog pojedinačnog parkirnog mjesta koji se mogu bazirati na ultrazvučnoj tehnologiji, magnetskoj detekciji, itd. Zauzećem jednog takvog parkirnog mjesta, pomoću postavljenih LED zaslona, može se dati informacija ostalim vozačima o broju slobodnih mjesta, ili još bolje, lokaciji istog. Primjeri takvih sustava često se danas mogu vidjeti u novijim podzemnim garažama trgovačkih centara. Koristi takvih sustava je smanjenje vremena potrebno za traženje slobodnog parkirnog mjesta čak i do 70%, čime se i značajno mogu ukloniti nepotrebne gužve [16].

Primjena autonomnih bespilotnih letjelica u sustavima otkrivanja slobodnih parkirnih mjesta pruža brojne prednosti, posebno kada je riječ o pokrivanju većih površina otvorenih javnih parkirališta. U ovom slučaju, autonomna bespilotna letjelica bi bila opremljena visokokvalitetnom kamerom i koristila bi napredne sustave umjetne inteligencije za obradu slike u stvarnom vremenu. Zauzećem pojedinog parkirališnog mjesta informacija o preostalim slobodnim mjestima mogla bi biti prikazana putem LED zaslona prema primjeru postojećih sustava, mobilnih aplikacija, ili budućom integracijom informativnog sustava u sama osobna vozila. Slika 15 u nastavku rezultat je postojećeg istraživanja primjene bespilotne letjelice u svrhu otkrivanja slobodnih i zauzetih parkirališnih mjesta. Na slici 15, crvenom bojom označena su zauzeta, dok zelenom slobodna parkirališna mjesta.



Slika 15. Nadzor parkirališta primjenom bespilotne letjelice

Izvor: <https://ieeexplore.ieee.org/>

Istraživanje je pokazalo iznimnu točnost sustava koji koristi autonomne bespilotne letjelice za otkrivanje slobodnih i zauzetih parkirnih mjesta, s postignutom prosječnom točnošću od 97.6% [17]. Ovim istraživanjem pruža se konkretan dokaz o mogućnostima integracije autonomnih bespilotnih letjelica u postojeće ITS infrastrukture što može doprinijeti boljem djelovanju samog prometnog procesa u gradovima.

5. METODOLOGIJA RAZVOJA SUB-ARHITEKTURE ITS USLUGA

Suvremeni prometni sustavi suočavaju se s mnogim izazovima poput stvaranja gužvi, zagađenjem okoliša, pitanjima sigurnosti i potrebe za učinkovitijim korištenjem resursa. Tradicionalni pristupi rješavanju takvih problema, poput izgradnje dodatnih traka i slično, više nisu dovoljni za rješavanje tih problema. Upravo tu ulogu preuzima prijašnje navedena grana prometa ITS, koja kombinira napredne tehnologije, informacijske i komunikacijske mreže za stvaranje novih inovativnih rješenja za prometne izazove.

S obzirom na kompleksnost i raznolikost prometnih problema, standardizacija i harmonizacija su ključni faktori za postizanje uspješne implementacije ITS-a. Upravo tu nastupa projekt FRAME arhitektura, izvorno nazvan European ITS Framework Architecture [18]. FRAME je projekt na razini Europske unije čiji je temeljni cilj bio promicanje razvoja ITS-a stvaranjem okvira koji bi osigurao sustavnu osnovu za planiranje ITS implementacije, olakšavao njihovu integraciju i pomogao u osiguravanju interoperabilnosti, uključujući i izvan granica Europske unije.

Posebna značajka FRAME arhitekture je da je dizajnirana tako da ima podskupove stvorene iz nje, te je stoga malo vjerojatno da će se koristiti u cijelosti. Također, ponekad omogućuje više od jednog načina izvođenja pojedine usluge na temelju koje korisnik može odabrati najprikladniji skup funkcionalnosti za isporuku usluge u tom okruženju. S tim u vezi, može se reći da FRAME arhitektura nije model integriranog ITS-a, koliko okvir iz kojeg se specifični modeli integriranog ITS-a mogu stvoriti na sustavan i zajednički način.

Područja koja FRAME arhitektura trenutno pokriva su [18]:

- Elektronička naplata
- Obavijest i odgovor u hitnim slučajevima
- Upravljanje prometom
- Upravljanje javnim prijevozom
- Telematički sustavi u vozilima
- Putno informiranje
- Podrška za provedbu zakona

- Upravljanje teretom i flotom
- Pružanje potpore kooperativnim sustavima
- Multi modalna sučelja

FRAME arhitektura je usklađena s načelima supsidijarnosti i stoga ne nameće specifičnu fizičku ili organizacijsku strukturu državi članici, već se sastoji od skupa korisničkih potreba koje opisuju mogućnosti koje ITS može pružiti, kao i funkcionalni prikaz koji pokazuje kako se to može učiniti. Metodologija koja je podržana računalnim alatima, pomaže u stvaranju logički konzistentnih podskupova funkcionalnog pogleda FRAME arhitekture i stvaranju naknadnih fizičkih pogleda. Kao nastavak projekta FRAME nastao je FRAME NEXT projekt koji je fokusiran na daljnji razvoj i unapređenje arhitekture [18].

5.1. FRAME NEXT

FRAME arhitektura je stvorena s ciljem pružanja minimalnog stabilnog okvira potrebnog za implementaciju integriranih i interoperabilnih ITS sustava unutar Europske unije. FRAME arhitektura obuhvaća visoku razinu zahtjeva i funkcionalnost za gotovo sve ITS primjene i usluge koje su razmatrane za implementaciju negdje u Europskoj uniji. Ona služi kao referenca za sve ITS arhitekture i namijenjena je kao temelj za stvaranje detaljnijih arhitektura i dizajna koji će biti potrebni za određenu implementaciju ITS-a. Svrha je osigurati usklađenost na sučeljima s drugim sustavima kako bi se putnicima mogle pružiti besprijekorne usluge dok putuju Europom te uspostaviti otvoreno europsko tržište kompatibilnih komponenti [19].

FRAME NEXT je projekt koji dodatno proširuje FRAME arhitekturu s aktivnostima različitih država članica u Europi, unutar prioritetnih područja ITS direktive (Directive 2010/40/EU) te s metodologijama i alatima koji čine modernu ITS arhitekturu privlačnom korisnicima. FRAME NEXT projekt ima tri glavne faze rada: analiza postojećeg stanja, faze evolucije i faze diseminacije i širenja informacija [19]:

1. Analiza postojećeg stanja: Vršiti se temeljita analiza trenutnog stanja ITS-a u različitim državama članicama Europske unije. Cilj je identificirati ključne izazove, potrebe i mogućnosti za unapređenje ITS-a, kao i identificirati dobre primjere i prakse koji se već primjenjuju.
2. Faze evolucije: Razvijanje novih metoda, alata i smjernica za unapređenje ITS arhitekture. Ova faza uključuje integraciju novih tehnologija, prilagodbu arhitekture

prema specifičnim potrebama i usklađivanje s prioritetnim područjima definiranim ITS direktivom.

3. Diseminacija i širenje informacija: Faza usmjerena na širenje informacija o novim razvojima i rezultatima FRAME NEXT projekta. Cilj je educirati i informirati zajednicu o unapređenjima u području ITS-a te potaknuti na daljnju implementaciju i suradnju među državama članicama

Koncept unaprijed definiranih paketa stvorenih iz FRAME arhitekture, zajedno s primjerima implementacije i smjernicama, pruža korisnu podršku. Prilikom razvijanja novih alata koji podržavaju FRAME arhitekturu, ključno je osigurati njihovu jednostavnu upotrebu bez potrebe za naprednim tehničkim znanjem. Ti alati trebaju omogućiti definiranje poslovnog pogleda za određene ITS sustave, uzimajući u obzir postojeće europske poglede ako već postoje [19].

FRAME arhitektura trebala bi biti slobodno dostupna, ali također treba uzeti u obzir pitanja privatnosti i poslovnih razmatranja. Kao dio procesa stvaranja arhitekture, trebalo bi provesti pregled aspekata privatnosti, sigurnosti i zaštite, odnosno privatnost, sigurnost i zaštita su odgovornost korisnika FRAME arhitekture. Funkcionalni pregled može se koristiti od strane savjetnika i akademskih korisnika, dok bi Fizički pregled trebao biti dizajniran za programere i/ili planere ITS-a. Isto tako valja razmotriti proširenje alata FRAME arhitekta kako bi se pružili opisi komponenti i primjeri najboljih praksi/rješenja za neke zahtjeve ITS usluga, npr. one uključene u EU ITS Direktivi[19].

FRAME NEXT ima različite perspektive, odnosno poglede na ITS arhitekturu koje se koriste za razumijevanje, planiranje i implementaciju sustava inteligentnih transportnih sustava. Oni mogu biti[19]:

1. Funkcionalni pogled (engl. Functional View): Odnosi se na opis funkcionalnosti i interakcija različitih komponenti sustava. Smatra se kao apstraktni pogled koji opisuje koje su funkcionalnosti sustava. Omogućuje lakše razumijevanje funkcionalnosti sustava i definiraju zahtjeve kako bi se postigli željeni ciljevi.
2. Fizički pogled (engl. Physical View): Odnosi se na konkretne komponente i njihove međusobne veze unutar ITS sustava. Ovaj pogled opisuje kako se funkcionalnosti ostvaruju kroz različite fizičke komponente, kao što su senzori, uređaji za prikupljanje

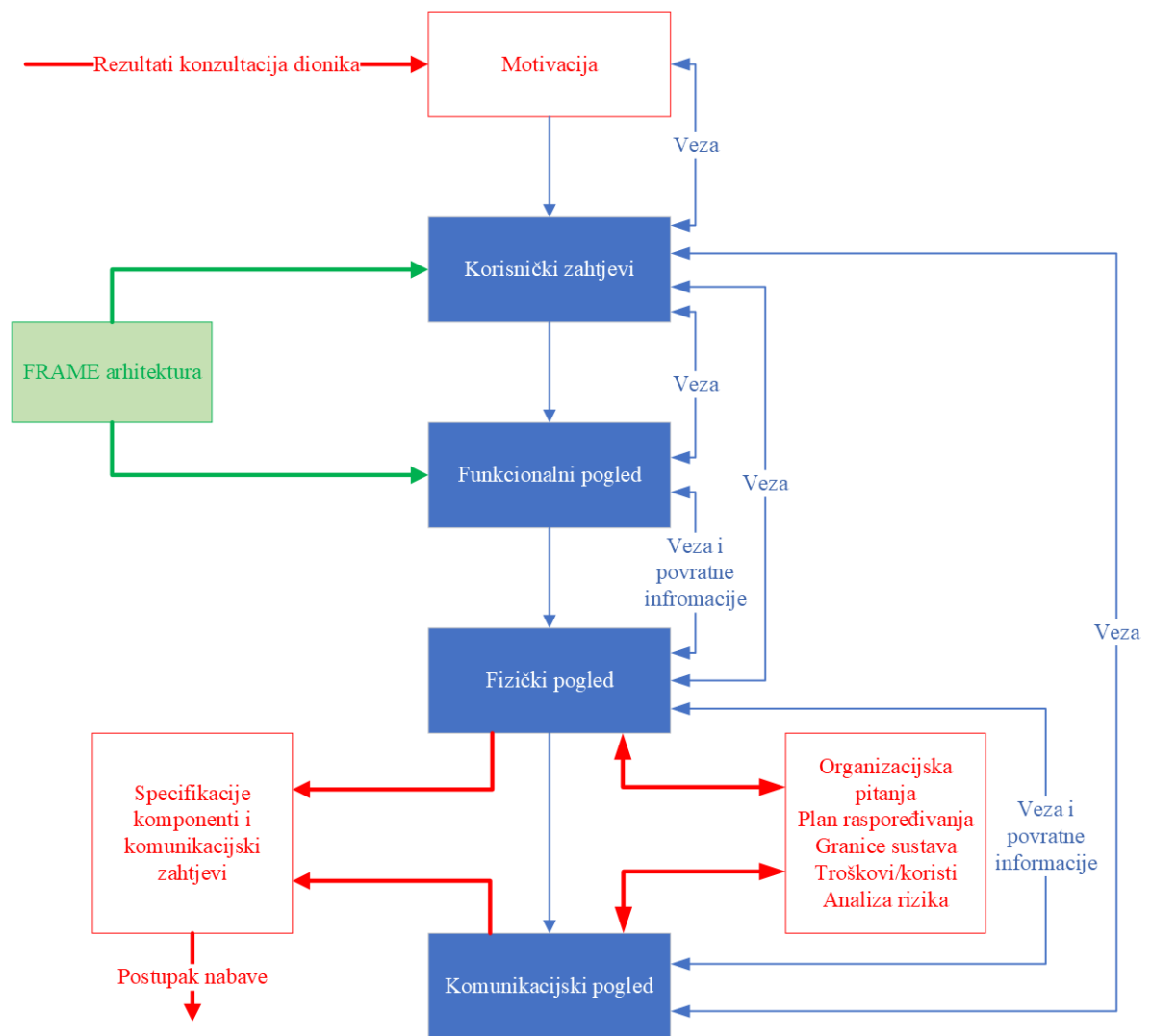
podataka, komunikacijske mreže i druge infrastrukturne elemente. Omogućuje bolje razumijevanje načina implementacije sustava i međusobnog djelovanja komponenata.

3. Poslovni pogled (engl. Business View): Odnosi se na analizu poslovnih aspekata implementacije ITS sustava. Uključuje identifikaciju poslovnih potreba, procjenu ekonomskih aspekata, identifikaciju ključnih dionika i upravljanje projektom. Poslovni pogled pomaže u razumijevanju koristi, troškova i organizacijskih izazova povezanih s implementacijom ITS sustava te pomaže u planiranju i provedbi projekata.

5.2. Metodologija razvoja sub-arhitekture ITS usluga primjenom alata FRAME arhitekture

Za razvoj sub-arhitekture koristi se alat Enterprise Architect sa dodatnim proširenjem alata FRAME arhitekture koja se može preuzeti sa službene stranice FRAME NEXT pod nazivom 'FRAME_Architecture Tool'. Enterprise Architect je alat koji služi za vizualno modeliranje i dizajniranje koji se temelji na grupi za upravljanje objektima (engl. Object Management Group, OMG) i jedinstvenom jeziku za modeliranje (engl. Unified Modeling Language, UML) [20]. Platforma podržava dizajniranje i konstrukciju programskih sustava, modeliranje poslovnih procesa i modeliranje domene temeljene na industriji. Organizacije i poslovanja koriste alat, ne isključivo za modeliranje arhitekture njihovih sustava, već i za procese implementacije tih modela tijekom cijelog životnog ciklusa razvoja aplikacije.

Unutar alata FRAME arhitekture moguće je pronaći ažurirane korisničke zahtjeve i funkcionalne poglede. Isto tako unutar arhitekture nalazi se zbirka unaprijed pripremljenih referentnih arhitektura za tematska prioritetna područja. Konačno arhitektura sadrži razne smjernice, priručnike i članke koji mogu pomoći za dodatno razumijevanje alata. Na slici 16 u nastavku prikazani su glavni procesi kroz koje je potrebno proći tijekom stvaranja ITS sub-arhitekture. Plavi okviri na slici prikazuju rezultate dobivene korištenjem Enterprise Architect alata, čije će osnovne značajke biti objašnjene u nastavku, dok bijeli okviri pokazuju procese koji se moraju obaviti na početku i dodatne informacije koje su prikupljene prije izrade sub-arhitekture.



Slika 16. Proces stvaranje sub-arhitekture ITS usluge

Izvor: <https://frame-next.eu/> (FRAME Architecture Tool – User Guide)

Prije početka izrade ITS sub-arhitekture za nove ili redizajnirane ITS usluge potrebno je analizirati koje su potrebe dionika. Analiza potreba dionika bitan je dio procesa izrade arhitekture kako bi se odredili ciljevi misije ITS usluge, odnosno kako bi se definirao opis buduće ITS usluge. Tradicionalno, upravljanje prometnom infrastrukturom oduvijek je bilo u nadležnosti javnog sektora, dok novije prakse uključuju i privatni sektor što rezultira novim zahtjevima kao što su naknade, isplate dobiti i slično. Bitno je da se rane razvojne faze ITS usluga pravilno provedu kako u kasnijim fazama ne bi došlo do bilo kakvih financijskih nesrazmjera uzrokovanih pogreškama u ranijim razvojnim fazama. Motivacijska faza, odnosno analiza i postavljanje ciljeva završava definiranjem korisničkih potreba nakon čega se može pristupiti razvoju ITS opreme [21].

Izvršavanje motivacijske faze vjerojatno će rezultirati brojnim idejama, napisanim u različitim stilovima koje se mogu različito tumačiti te ih je stoga potrebno preformulirati na konzistentan način. Korisnički zahtjevi trebaju pružati nedvosmislen, slijedan i jedinstven način izražavanja, a moguće ih je podijeliti u 10 grupa [21]:

- Opće
- Upravljačke aktivnosti
- Zakonodavne
- Financijske
- Žurne službe
- Putne informacije
- Upravljanje prometom
- Sustavi u vozilima
- Upravljanje flotom i teretom
- Javni prijevoz

Svaka navedena grupa korisničkih zahtjeva isto tako sadrži određene podgrupe jedinstvene za svaku grupu. Bitno je napomenuti kako korisnički zahtjevi uvijek počinju riječima „Sustav će“ čime se osigurava nedvosmisleno opisivanje što sustav omogućuje, kako bi se kasnije planirana funkcionalnost mogla i testirati, odnosno potvrditi da li sustav uistinu obavlja planiranu funkciju.

Definiranjem korisničkih zahtjeva moguće je pristupiti izradi funkcionalnog pogleda. Funkcionalni pogled opisuje funkcije koje ITS usluga može izvršavati. Unutar alata FRAME arhitekture bitni pojmovi za izradu funkcionalnog pogleda su terminatori te dijagram tokova podataka koji sadrži funkcije, spremišta podataka i tokove podataka. Terminatori su osobe, organizacije ili drugi sustavi koji sudjeluju u funkcioniranju sustava poput vozača, putnika, itd. Nadalje, dijagrami tokova podataka opisuju tok podataka kroz ITS uslugu. Dijagrami tokova podataka sastoje se od [21]:

1. Funkcija – Zadužene za prikaz izvršavanja korisničkih zahtjeva. Definirane su terminatorima, tehnološki su neovisne, odnosno odgovaraju na pitanje „što“, a ne „kako“ nešto radi.

2. Spremišta podataka – Privremeno ili trajno pohranjuju podatke koje koristi jedna ili više funkcija.
3. Tokovi podataka – Zaduženi su za prijenos podataka između različitih funkcionalnih blokova kao što su funkcije, skladišta podataka i terminatori.

Funkcije su hijerarhijski strukturirane unutar dijagrama tokova podataka, odnosno funkcije više razine dijele se na one niže razine, kako bi se omogućilo upravljanje velikim brojem funkcija niže razine unutar FRAME arhitekture. Funkcije najviših razina dijele se na devet funkcionalnih područja, a one su [21]:

- Omogućavanje elektroničkog plaćanja
- Omogućavanje sigurnosnih i žurnih facilitatora
- Upravljanje prometom
- Upravljanje operaterima javnog prijevoza
- Omogućavanje potpore za host usluge u vozilima
- Omogućavanje putnog asistenta
- Omogućavanje sustava za provedbu zakonske regulative
- Upravljanje flotom i teretom
- Omogućavanje kooperativnih sustava

U početnoj fazi izrade, prvo se odabiru korisničke potrebe budući da one sadrže funkcije koje najbolje opisuju traženi ITS sustav, dok za nove i nestandardne ITS usluge postoji mogućnost da neće postojati definirane funkcionalnosti i tada je potrebno dodati relevantne funkcije. Definirani korisnički zahtjevi upućuju samo na osnovne funkcionalnosti niže razine, pa je u početku potrebno odabrati postojeće funkcije, a tek nakon toga dodavati nove, odnosno kreirati sub-arhitekturu. Nakon izrade funkcionalnog pogleda sub-arhitekture može se pristupiti stvaranju odgovarajućeg fizičkog pogleda[21].

Fizički pogled predstavlja oblik funkcionalnog prikaza koji opisuje fizičko raspoređivanje sustava za određenu lokaciju. Kroz fizički pogled identificiraju se komponente i podsustavi te se povezuju komunikacijskim vezama. Fizički pogled prikazuje lokacije na kojima će se nalaziti funkcija i skladište podataka. U nekim slučajevima ista funkcija se može nalaziti na više od jedne lokacije.

Nakon toga, komunikacijski pogled zahtijeva analizu fizičkih tokova podataka kako bi se identificirale karakteristike fizičkih veza koje će prenositi podatke. Komunikacijski pogled uključuje sljedeće elemente [21]:

- Vrste podataka koji se prenose
- Potrebni kapaciteti za prijenos podataka
- Sigurnosni zahtjevi koji se odnose na zaštitu podataka tijekom prijenosa

Isto tako postoji organizacijski pogled, koji odgovara na organizacijska pitanja kao što su [21]:

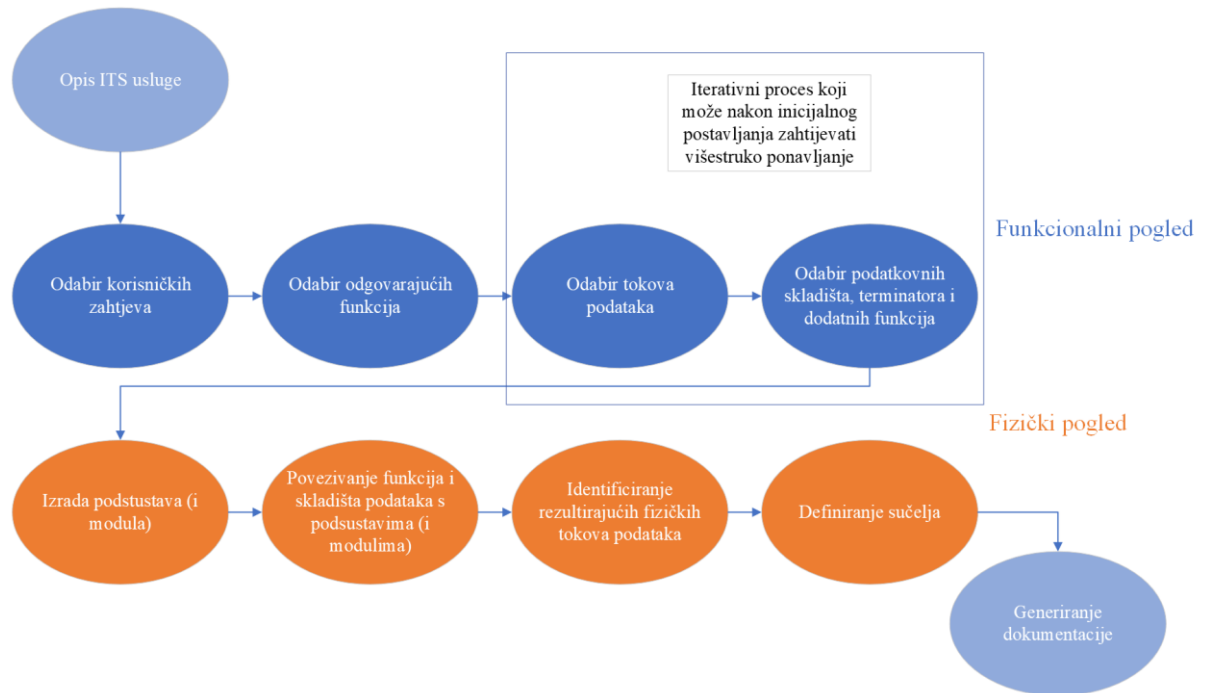
- Vlasništvo, upravljanje, regulacija i održavanje svake pojedine komponente i komunikacijske veze
- Pravna odgovornost za ispravan rad cijelog sustava
- Financijska konstrukcija koja obuhvaća pitanja poput izvora financiranja za implementaciju ITS usluga i postojanja prihoda
- Odgovornosti za prikupljanje i distribuciju prikupljenih podataka
- Upravljanje podacima u sustavu, uključujući tko ih skuplja, obrađuje i posjeduje
- Pitanja prisutna podacima i njihove dostupnosti relevantnim stranama

Također je potrebno provesti analizu uključenosti organizacija u komponente sustava. Za svaku komponentu i komunikacijsku vezu potrebno je identificirati njezinog vlasnika, operatera, regulatora i upravitelja. Isto tako potrebno je karakterizirati veze između organizacija, točnije odrediti broj uključenih organizacija, postoje li definirani odnosi i potencijalni konflikti. Na kraju potrebno je analizirati mjere koje je potrebno poduzeti za rješavanje problema.

Posljednji korak u izradi sub-arhitekture jest riješiti pitanja zaštite i sigurnosti. U smislu pitanja zaštite potrebno je obratiti pozornost na zaštitu samog sustava, interakcije čovjeka i sustava te na samu zaštitu u prometu. S druge strane, po pitanju sigurnosti, potrebno je osigurati dostupnost podataka onda kada su oni zatraženi, osigurati da su podaci dostupni samo onima koji imaju legitimnu upotrebu te osigurati se od potencijalnih prijetnji sustavu [21].

Dok prijašnje naveden proces detaljno opisuje korake i komponente za izradu kompletne sub-arhitekture, cijeli proces izrade može se i opisati sljedećom slikom 17 koja daje

jednostavniji prikaz svih potrebnih koraka kako bi generirali dokumentaciju koja opisuje sub-arhitekturu unutar alata FRAME arhitekture.



Slika 17. Koraci izrade sub-arhitekture ITS usluge

Izvor: <https://frame-next.eu/> (FRAME Architecture Tool – User Guide)

Slikom je opisano kako se sub-arhitektura dijeli na izradu funkcionalnog i fizičkog pogleda, čime je izlaz generiranje dokumentacije. Generator dokumentacije unutar Enterprise Architect alata pruža mogućnost korisniku da stvori dokumentaciju prema postojećem predlošku. Pomoću alata FRAME arhitekture postoje predefimirani FRAME predlošci za dokumente koji se mogu koristiti za izrađene sub-arhitekture.

6. PRIJEDLOG ARHITEKTURE INOVATIVNIH ITS USLUGA ZASNOVANIH NA AUTONOMNIM BESPILOTNIM LETJELICAMA

U ovom poglavlju dati će se prijedlog arhitekture inovativne ITS usluge koja se zasniva na autonomnim bespilotnim letjelicama. Arhitektura će se stvoriti prateći korake navedene slikom X, dok će se sama izrada arhitekture vršiti u prijašnje navedenom programskom alatu Enterprise Architect sa dodatnim proširenjem FRAME NEXT alata.

Prvi korak za izradu arhitekture ITS usluge jest opisati kakva će ta usluga zapravo biti, odnosno što je cilj takve usluge. Opis buduće ITS usluge potrebno je razložiti u logičke cjeline koje odgovaraju načinu na koji će ITS usluga biti projektirana. Nadalje, definiranjem konkretnog opisa usluge slijedi izrada same arhitekture koja će se dijeliti na tri dijela, a to su:

- Korisnički zahtjevi: U ovom dijelu potrebno je definirati sve korisničke zahtjeve koje ITS usluga mora zadovoljiti. Identifikacija odgovarajućih korisničkih zahtjeva bit će ključan korak u usmjeravanju izrade arhitekture ITS usluge.
- Funkcionalni pogled: U ovom dijelu potrebno je opisati funkcionalnosti ITS usluge. Cilj je identificirati ključne funkcionalnosti i definirati tok podataka među tim funkcionalnostima.
- Fizički pogled: U ovom dijelu potrebno je opisati od kojih se fizičkih komponenti tvori ITS usluga. Točnije, potrebno je definirati komponente sustava i pridijeliti im odgovarajuće funkcionalnosti te definirati fizičke tokove podataka.

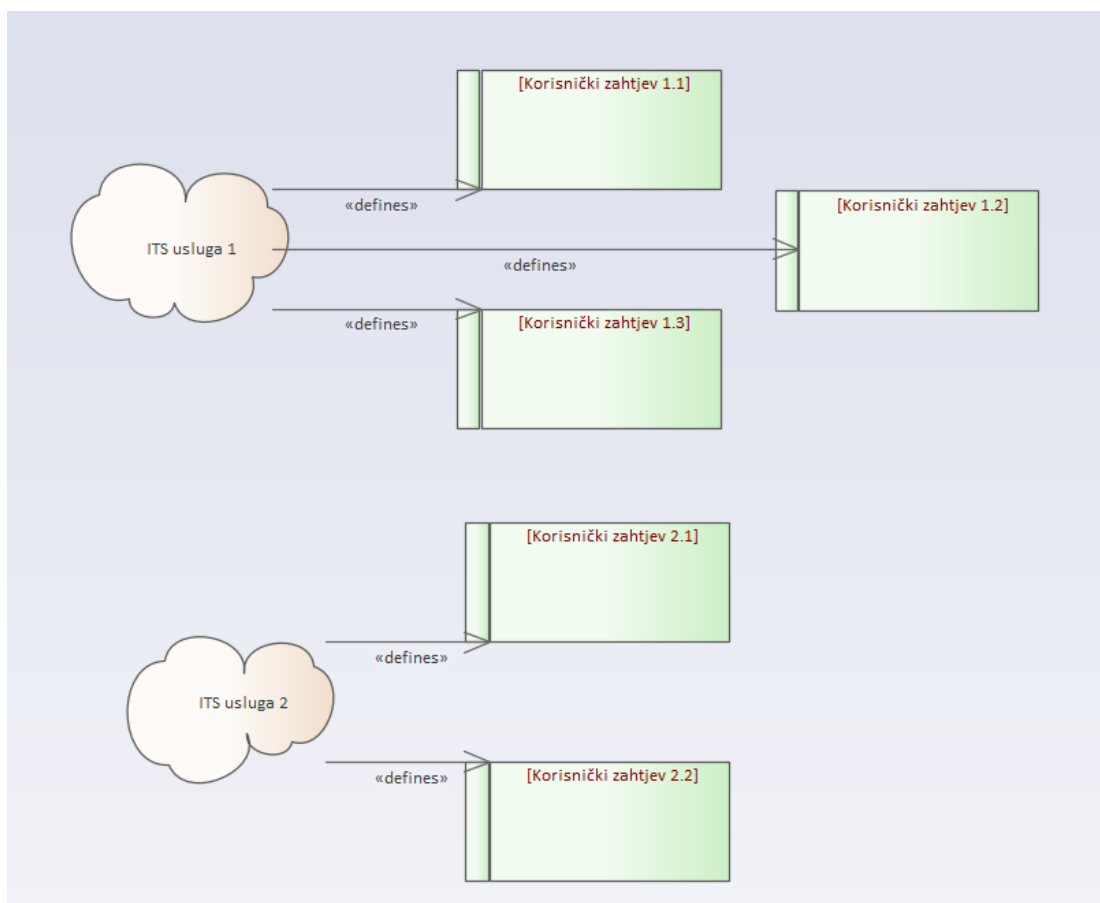
U narednim poglavljima detaljno će se opisati postupak izrade navedenih dijelova arhitekture ITS usluge. Kao primjer za koji će se izrađivati arhitektura predložena je ITS usluga „Upravljanje incidentnim situacijama u urbanoj prometnoj mreži“, čiji je opis u nastavku:

„ITS usluga treba osigurati sadržaje koji omogućuju brzo otkrivanje incidentnih situacija u urbanoj prometnoj mreži kako bi se omogućila brza intervencija hitnih službi. Otkrivanjem prometnog incidenta šalju se potrebite informacije nadležnim službama. ITS usluga će bilježiti potrebne informacije za mogućnost analize prometnih nesreća te otkrivanja mogućnosti sanacije opasnih mjesta.“

6.1. Korisnički zahtjevi

Korisnički zahtjevi se mogu opisati kao skup potreba ili želja koju krajnji korisnici očekuju od proizvoda, sustava ili usluge. Oni služe kao okvir za razvoj pojedinog proizvoda ili usluge kako bi odgovarali stvarnim potrebama ili očekivanjima korisnika. U slučaju ovog primjera potrebno je definirati korisničke zahtjeve prema navedenom opisu ITS usluge. Prije svega sam opis ITS usluge moguće je podijeliti u dva dijela, od kojih svaki opisuje jedinstvenu značajku koja se očekuje od sustava.

Unutar programskog alata Enterprise Architect potrebno je izraditi dijagram korisničkih zahtjeva, točnije potrebno je definirati odnose opisa ITS usluge i korisničkih zahtjeva koji se vežu za navedene opise. Sami objekti kojima se izrađuje dijagram proizlaze iz programskog proširenja FRAME NEXT, odnosno koristeći FRAME alate unutar Enterprise Architect-a. Na slici u nastavku moguće je vidjeti definiranu strukturu i odnose korisničkih zahtjeva sa ITS uslugom.



Slika 18. Korisnički zahtjevi

Prema slici 18 prikazano je kako imamo dvije ITS usluge, ITS usluga 1 i ITS usluga 2, koje su definirane sa svojim potrebitim korisničkim zahtjevima. ITS uslugu 1 definiraju tri

korisnička zahtjeva, dok ITS uslugu 2 definiraju dva korisnička zahtjeva. U nastavku su opisane sve komponente izrađene strukture korisničkih zahtjeva.

ITS usluga 1:

ITS usluga treba osigurati sadržaje koji omogućuju brzo otkrivanje incidentnih situacija u urbanoj prometnoj mreži kako bi se omogućila brza intervencija hitnih službi. Otkrivanjem prometnog incidenta šalju se potrebite informacije nadležnim službama.

Korisnički zahtjevi ITS usluge 1 su:

- **Korisnički zahtjev 1.1:** Sustav mora moći otkriti da je vozilo sudjelovalo u nesreći, identificirati njegovu lokaciju i automatski poslati poziv žurnim službama.
- **Korisnički zahtjev 1.2:** Sustav mora biti u mogućnosti minimizirati vrijeme odgovora za spašavanje vozača za kojeg je zatražena pomoć hitnih službi.
- **Korisnički zahtjev 1.3:** Sustav mora biti u stanju identificirati i klasificirati sve incidente na cestovnoj mreži.

ITS usluga 2:

ITS usluga će bilježiti potrebne informacije za mogućnost analize prometnih nesreća te otkrivanja mogućnosti sanacije opasnih mjesta.

Korisnički zahtjevi ITS usluge 2 su:

- **Korisnički zahtjev 2.1:** Sustav mora moći prikupljati i pohranjivati podatke o svakom incidentu, npr. mjesto, vrsta, ozbiljnost, broj i vrsta uključenih vozila, potrebna vozila za hitne slučajeve, itd.
- **Korisnički zahtjev 2.2:** Sustav mora moći proizvesti statistiku podataka o incidentima, npr. učestalosti pojavljivanja prema vremenu, vrsti i mjestu; identifikaciji mjesta visokog rizika na cestovnoj mreži; performanse sustava za detekciju incidenata.

Nakon definiranih korisničkih zahtjeva prema opisima ITS usluge, moguće je pristupiti izradi funkcionalnog pogleda. Prema definiranim korisničkim zahtjevima odrediti će se funkcionalnosti koje sustav mora biti u mogućnosti izvoditi te će se definirati terminatori sustava i tokovi podataka između funkcija sustava.

6.2. Funkcionalni pogled

Funkcionalni pogled tvori se od samih funkcionalnosti, terminatora, spremište podataka i tokova podataka. Funkcionalnosti sustava opisuju koje su sposobnosti sustava te one moraju biti u skladu sa korisničkim zahtjevima kako bi se isti ispunili. Kao što je prijašnje navedeno terminatori su osobe, organizacije ili drugi sustavi koji sudjeluju u funkcioniranju sustava poput vozača, putnika, itd. Spremište podataka opisuje privremenu ili trajnu pohranu podataka koju koristi jedna ili više funkcija, dok tokovi podatak služe za opis prijenosa podataka između raznih funkcionalnosti.

Funkcionalni pogled za ovaj primjer se sastoji od četiri funkcije, dva terminatora, jednog spremišta podataka te tokova podataka između svih komponenti sustava. U nastavku su opisane sve komponente funkcionalnog pogleda. Prije svega opisane su funkcije sustava te su za svaku funkciju navedene pogodnosti koje je funkcija sposobna pružiti, a funkcije su sljedeće:

- **Identificiranje i klasifikacija incidenata:**

- Sposobnost identificiranja i klasificiranja incidenata.
- Mogućnost korištenja podataka o potencijalnim incidentima koje osigurava druga funkcionalnost u drugim dijelovima sustava ili podataka koje prikuplja izravno za sebe.
- Mogućnost da podaci iz drugih dijelova sustava budu primljeni izravno od terminatora ili da ih obradi druga funkcionalnost iz ulaza koje je primio.
- Sposobnost utvrđivanja da postoji dobra vjerojatnost da primljeni podaci pokazuju da se incident dogodio.
- Sposobnost obrade podataka za identifikaciju i klasificiranje određene vrste incidenta koji je otkriven, prema izvoru koristeći vlastita interna „pravila“ koja se mogu odnositi na neki oblik odobrenog standarda.
- Sposobnost filtriranja i dobivanja povezanih informacija (npr. lokacija, status tereta, identifikacija vozila, identifikacija putnika) za proizvodnju podataka potrebnih za planiranje odgovarajućeg odgovora hitnih službi.
- Kao dio procesa identifikacije, sposobnost kombiniranja podataka koji osjetno pripadaju istom incidentu, npr. progresivno napredovanje zagušenja nakon nesreće.

- Sposobnost analiziranja podataka o vremenu kako bi se vidjelo hoće li ono predstavljati opasnost za vozila.
 - Kada je identifikacija i klasifikacija incidenta dovršena, mogućnost slanja podataka o njemu na pohranu i naknadnu procjenu potrebnih strategija ublažavanja drugim funkcionalnostima.
- **Upravljanje pohranom podataka o incidentu i hitnim slučajevima:**
- Sposobnost preuzimanja odgovornosti za upravljanje podacima o incidentima i hitnim slučajevima i izradu statističkih izvješća.
 - Mogućnost primanja podataka o prijavljenim incidentima i ažuriranja tih podataka iz drugih funkcija i podataka o incidentima od drugih subjekata izvan sustava.
 - Mogućnost učitavanja svih podataka koji su primljeni u pohranu podataka o incidentu.
 - Mogućnost dohvaćanja podataka iz pohrane podataka o incidentima za procjenu, kada to zahtijevaju druge funkcije u sustavu.
 - Mogućnost dohvaćanja podataka iz pohrane podataka o nezgodama i izrade potrebnih izvješća o statistici nezgoda na zahtjev operatora cestovne mreže.
 - Sposobnost prosljeđivanja opisa incidenta kada su primljeni u funkcionalnost za planiranje hitnih intervencija.
- **Planiranje hitne intervencije:**
- Sposobnost definiranja i/ili izrade plana za hitne slučajeve koji definira kako će hitne službe odgovoriti na određeni incident.
 - Kao dio definiranja plana za hitne slučajeve, biti u mogućnosti odabrati potrebne hitne službe, koristiti unaprijed definirane postupke odgovora, zahtijevati (zeleni val) rute za hitna vozila i zahtijevati da se rute provedu.
 - Sposobnost kontaktiranja potrebnih hitnih službi i uspostavljanja s njima akcijskih planova.
- **Slanje pojedinosti o incidentu pružateljima informacija**

- Sposobnost upravljanja izlazom informacija vanjskim pružateljima usluga kao dio strategije incidenta kao odgovor na incidente koje je otkrila druga funkcionalnost.
- Mogućnost da pružatelji također zatraže ponavljanje izlaza informacija i podataka o incidentu, ako se to odnosi na trenutne ili buduće događaje, tj. ne incidente koji uključuju hitne službe.
- Sposobnost da izlaz informacija započne čim se primi informacija o strategiji.
- Sposobnost čuvanja lokalne pohrane strategije upravljanja incidentima koje se trenutno provode i njihovog brisanja kada istekne njihovo vrijeme ili kada iz funkcionalnosti upravljanja incidentima stigne naznaka izmjene ili uklanjanja strategije.

Nadalje, opisani su svi terminatori koji sudjeluju u djelovanju sustava, a oni su:

- **Hitne službe:** Ovaj terminator će predstavljati sustave koje koriste hitne službe kao dio svojih operacija. Pretpostavlja se da pojam hitne službe uključuje organizacije koje su odgovorne za usluge kao što su vatrogasci, policija, hitna pomoć i oporavak vozila. Od njih se očekuje da mogu međusobno koordinirati svoje aktivnosti te slati i kontrolirati aktivnosti svojih vozila i osoblja kada odgovaraju na incidente. Sustavima za hitne slučajeve šalju se podatkovni objekti po funkcionalnosti u sustavu koji sadrže informacije o hitnim slučajevima koje je otkrio. Zauzvrat se od sustava za hitne slučajeve očekuje da osiguraju podatkovne objekte koji sadrže izvješća o napretku u rješavanju ovih incidenata tako da se sve strategije upravljanja prometom i putovanjima koje nameće funkcija u sustavu za ublažavanje utjecaja incidenata mogu ažurirati. Od sustava za hitne slučajeve također se očekuje da pruže pojedinosti o incidentima koji utječu na cestovni prijevoz koji im se izravno prijavljuju.
- **Promet:** Ovaj terminator predstavlja ključni element u ITS sustavu, koji obuhvaća različite vrste vozila i sustava koji sudjeluju u pružanju ITS usluge. Ovaj terminator će biti ključan za prikupljanje podataka i informacija relevantnih za identifikaciju incidenata i hitnih slučajeva kao i za pravovremeno reagiranje na prometne događaje. Terminator obuhvaća sljedeće elemente: teretna vozila, vozila za prijevoz opasnih tvari, servisno vozilo na zahtjev, druga vozila, vozila javnog prijevoza-sustavi vozila. Terminator „Promet“ ima ključnu ulogu u osiguravanju suradnje između različitih

elemenata prometa kako bi se osigurala brza i učinkovita reakcija na incidentne i hitne situacije. Kroz ovaj terminator, podaci će se prikupljati, dijeliti i koristiti za pružanje različitih ITS usluga, što će doprinijeti sigurnijem, učinkovitijem i održivijem prometnom okruženju.

Pohrana podataka o incidentnim i hitnim slučajevima je jedino spremište podataka u sustavu. Ova pohrana podataka koristi se unutar funkcionalnog područja upravljanja prometom. Mora sadržavati informacijske objekte koji pružaju prikupljene podatke o trenutnim i predviđenim incidentima. Svaki informacijski objekt u pohrani mora sadržavati sljedeće podatkovne objekte:

- Datum početka
- Vrijeme početka
- Trajanje prognoze
- Stvarno trajanje
- Lokacija incidenta
- Vrsta incidenta
- Ozbiljnost incidenta
- Tip i broj vozila
- Korištena strategija incidenta
- Korištena vozila hitnih službi

Podaci u nekim od ovih unosa dostavljaju se kako se stanje incidenta mijenja, dok se u drugim ažuriraju kako utjecaj incidenta napreduje i poduzimaju se mjere za ispravljanje. Konačno postoje komponente koje definiraju tokove podataka unutar sustava. U nastavku su opisani svi tokovi podataka i njihova orijentacija, a oni su:

- **Otkrivanje incidenta:**
 - Sadrži unos iz terminatora „Promet“ iz kojeg se kreiraju podatkovni objekti koji daju pojedinosti o incidentu koje je senzor otkrio. U tom slučaju „Promet“ može biti vozilo bilo koje vrste prepoznate po funkcionalnosti.
 - Tok podataka: „Promet“ -> Identificiranje i klasifikacija incidenta

- **Novi podaci o incidentu:**
 - Sadrži podatkovne objekte koji pružaju informacije o novom incidentu koji je obaviješten iz bilo kojeg izvora. Podaci se šalju funkcionalnosti koja upravlja pohranom podataka o incidentima radi učitavanja u pohranu.
 - Tok podataka: „Identificiranje i klasifikacija incidenata“ -> „Upravljanje pohranom podataka o incidentu i hitnim slučajevima“

- **Učitavanje podataka o incidentu:**
 - Sadrži podatkovne objekte koji se učitavaju u pohranu podataka o incidentu. Ti će podatkovni objekti uključivati pojedinosti o incidentima, trenutnim i planiranim.
 - Tok podataka: „Upravljanje pohranom podataka o incidentu i hitnim slučajevima“ -> „Pohrana podataka o incidentnim i hitnim slučajevima“

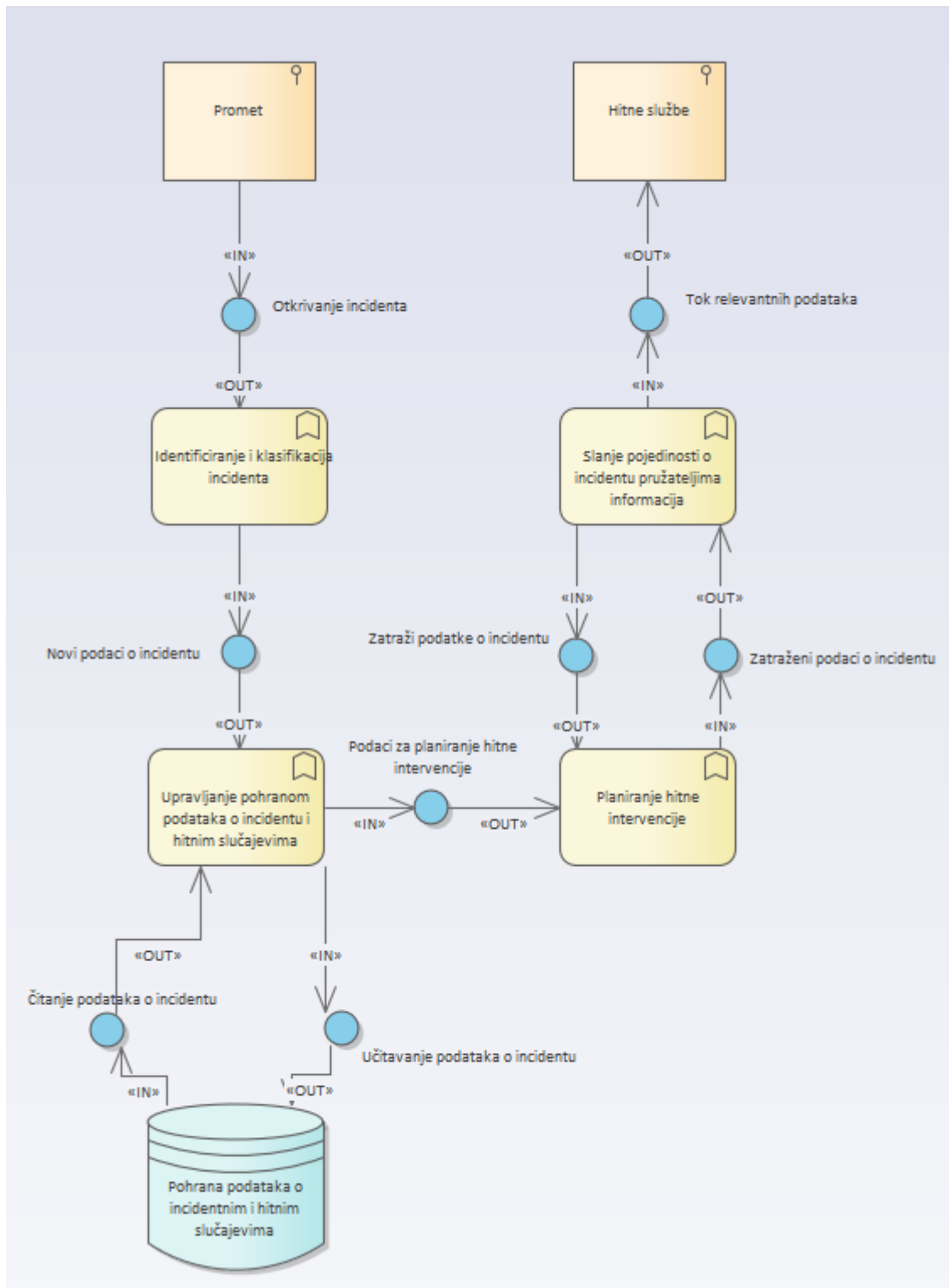
- **Čitanje podataka o incidentu:**
 - Sadrži podatkovne objekte koji pružaju informacije koje se čitaju iz pohrane podataka o incidentima. Ove informacije sadržavat će detalje o incidentima, kako aktualnim tako i planiranim, odnosno planiranim događajima.
 - Tok podataka: „Pohrana podataka o incidentnim i hitnim slučajevima“ -> „Upravljanje pohranom podataka o incidentu i hitnim slučajevima“

- **Podaci za planiranje hitne intervencije:**
 - Sadrži podatkovne objekte koji pružaju informacije o incidentima koji su dohvaćeni iz pohrane podataka o incidentima i služe za stvaranje plana djelovanja.
 - Tok podataka: „Upravljanje pohranom podataka o incidentu i hitnim slučajevima“ -> „Planiranje hitne intervencije“

- **Zatraženi podaci o incidentu:**
 - Sadrži podatkovne objekte koji pružaju tražene trenutne podatke o incidentima i događajima za izlaz emiterima i/ili pružateljima prometnih i putnih informacija

- Tok podataka: „Planiranje hitne intervencije“ -> „Slanje pojedinosti o incidentu pružateljima informacija“
- **Zatraži podatke o incidentu:**
 - Sadrži podatkovne objekte koji pružaju zahtjev za trenutne podatke o incidentima i događajima tako da se mogu poslati emiterima i/ili pružateljima informacija o prometu i putovanju.
 - Tok podataka: „Slanje pojedinosti o incidentu pružateljima informacija“ -> „Planiranje hitne intervencije“
- **Tok relevantnih podataka:**
 - Sadrži podatkovne objekte koji pružaju informacije o incidentima koji su dohvaćeni iz pohrane podataka o incidentima i plan za intervenciju hitnih službi.
 - Tok podataka: „Slanje pojedinosti o incidentu pružateljima informacija“ -> „Hitne službe“

Slika 19 u nastavku prikazuje funkcionalni pogled ITS usluge na kojem je moguće vidjeti sve prethodno opisane komponente i njihove veze.



Slika 19. Funkcionalni pogled

Izradom funkcionalnog pogleda moguće je stvoriti fizički pogled. Fizički pogled se tvori od fizičkih komponenti sustava kojima se dodjeljuju definirane funkcionalnosti iz funkcionalnog pogleda.

6.3. Fizički pogled

Fizički pogled opisuje fizičke komponente sustava potrebne za njegovo uspješno djelovanje. Tvori se od fizičkih komponenti sustava, fizičkih tokova podataka i sučelja. Fizičke komponente sustava sadrže definirane funkcionalnosti sustava koje ga opisuju, fizički tokovi podataka sastoje se od tokova podataka između fizičkih komponenti sustava, dok sučelja definiraju fizičke tokove podataka.

Za ovaj primjer fizički pogled (slika 20) sastoji se od dvije fizičke komponente, tri fizička toka podataka i tri sučelja. Opis fizičkih komponenti slijedu u nastavku, gdje se opisuje što komponenta jest, čemu služi i od kojih funkcija se sastoji, a komponente su:

- **Autonomna bespilotna letjelica**

- Autonomna bespilotna letjelica je opremljena sensorima i sustavima za prepoznavanje, identifikaciju i klasifikaciju incidenata na cesti. Nadzorom pojedinog djela urbane prometne mreže otkrivaju se novonastali incidenti te se dobivene informacije šalju centralnom sustavu za daljnju obradu i upravljanje hitnim intervencijama.
- Funkcije: Identificiranje i klasifikacija incidenata.

- **Centar za upravljanje hitnim intervencijama**

- Centar za upravljanje hitnim intervencijama ima ključnu ulogu u učinkovitom upravljanju hitnim situacijama na cestama. Sustav omogućuje komunikaciju, koordinaciju i razmjenu informacija između hitnih službi. Isto tako sustav vrši obradu, zapis i izradu statističkih izvješća čime je moguće vršiti detaljnu analizu svih incidenata promatranih područja.
- Funkcije: Upravljanje pohranom podataka o incidentu i hitnim slučajevima; Planiranje hitne intervencije; Slanje pojedinosti o incidentu pružateljima informacija.
- Spremišta podataka: Pohrana podataka o incidentnim i hitnim slučajevima

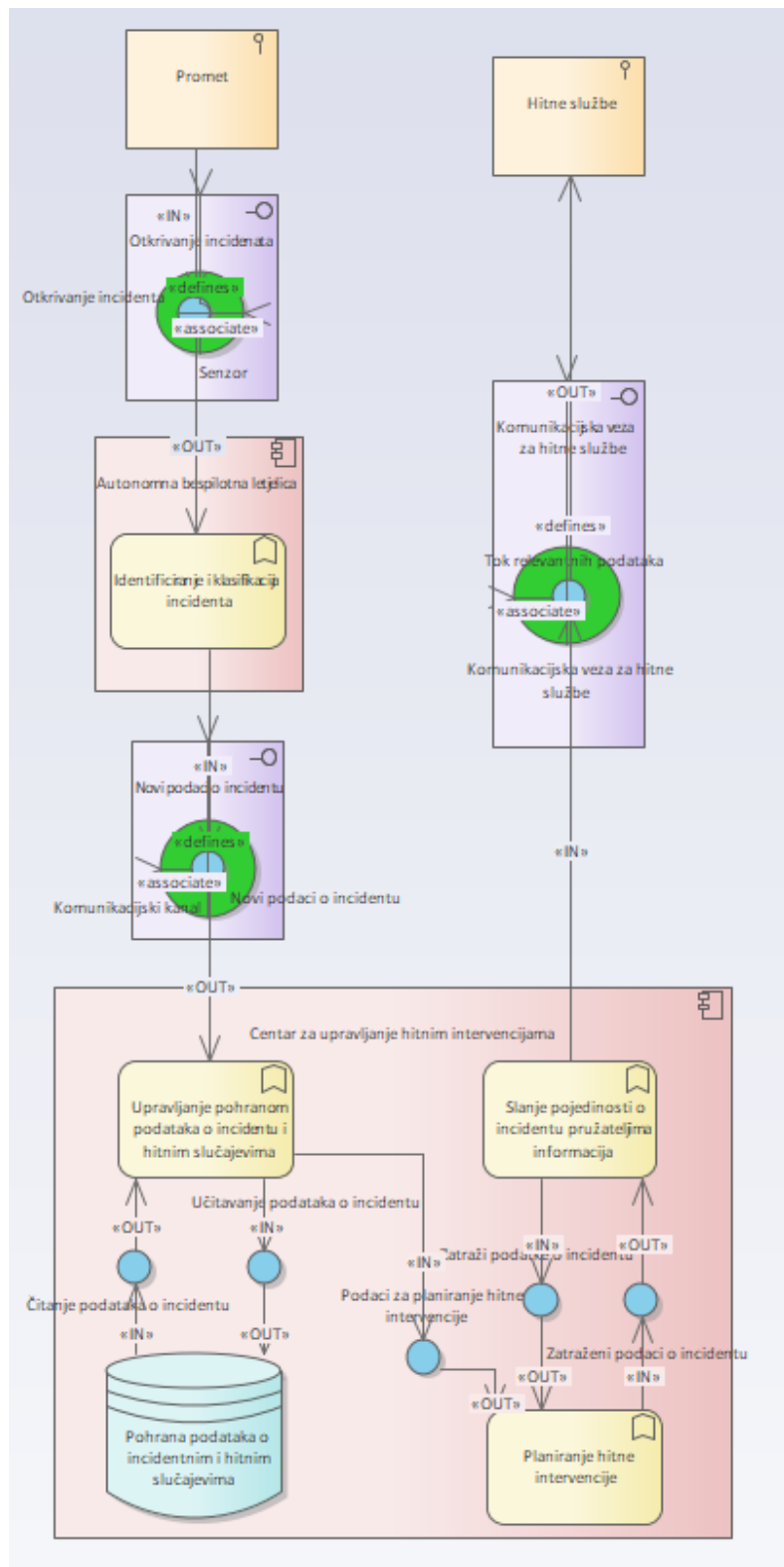
Nadalje, postoje tri fizička toka podataka. Fizički tokovi podataka sastoje se od tokova podataka koji su definirani u funkcionalnom pogledu i povezuju fizičke komponente sustava i terminatore, točnije asociraju takve tokove podataka. U nastavku opisani su svi fizički tokovi podataka, a oni su:

- **Senzor:** Senzor predstavlja ključnu komponentu autonomne bespilotne letjelice koja vrši otkrivanje prometnih incidenata na cestama. Opremljen različitim sensorima, uključujući optičke kamere, termalne kamere, radare i/ili druge senzore, senzor kontinuirano nadzire prometno okruženje i otkriva potencijalne incidente, poput nesreća, gužva, zastoja ili drugih neočekivanih situacija. Putem senzora prikupljaju se videozapisi pomoću kojih se izdvajaju bitne informacije za daljnje djelovanje sustava.
- **Komunikacijski kanal:** Komunikacijski kanal predstavlja bežičnu vezu između autonomne bespilotne letjelice, koja obavlja identifikaciju incidenata na cestama, i centra za upravljanje hitnim intervencijama. Kada senzor na letjelici identificira novi incident, generira se podatkovni objekt koji sadrži detalje o incidentu. Ti podatkovni objekti se šalju putem sigurne i pouzdane bežične veze centru za upravljanje hitnim intervencijama.
- **Komunikacijska veza za hitne službe:** Komunikacijska veza za hitne službe predstavlja mrežnu infrastrukturu koja omogućuje razmjenu relevantnih podataka između centra za upravljanje hitnim intervencijama i hitnih službi, uključujući vatrogasce, hitnu pomoć, policiju i službe za oporavak vozila. Ova mreža osigurava pouzdanu i brzu razmjenu informacija, omogućujući hitnim službama da na vrijeme dobiju relevantne informacije o incidentnim i hitnim situacijama na cestama.

Konačno, potrebno je definirati sučelja između fizičkih komponenti sustava koji su definirani fizičkim tokovima podataka. Sučelja osiguravaju dostupnost podataka između fizičkih komponenti sustava, a za ovaj primjer postoje sljedeća sučelja:

- **Otkrivanje incidenata:** sučelje za razmjenu podataka otkrivanja incidenata između autonomne bespilotne letjelice (senzora) i centra za upravljanje hitnim intervencijama. Podaci uključuju informacije o novim incidentima koje je senzor otkrio na cestama.
- **Novi podaci o incidentu:** Sučelje za prijenos podataka o novim incidentima između autonomne bespilotne letjelice (senzora) i centra za upravljanje hitnim intervencijama. Podaci se šalju kako bi bili ažurirani u pohrani podataka o incidentima prije nego što se prosljede hitnim službama.
- **Komunikacijska veza za hitne službe:** Sučelje koje omogućuje razmjenu relevantnih podataka između centra za upravljanje hitnim intervencijama i hitnim službama. Podaci

uključuju informacije o incidentima, planovima intervencije i strategijama upravljanja incidentima.



Slika 20. Fizički pogled

Nakon izrade fizičkog pogleda, može se smatrati da je arhitektura sustava gotova. Zadnji korak bi bio generiranje dokumentacije koju pruža programski alat pomoću koje je moguće dobiti detaljni prikaz i opis svih komponenti arhitekture ITS usluge, od korisničkih zahtjeva, pa do opisa funkcionalnog i fizičkog pogleda.

7. ANALIZA ZAKONODAVNOG I REGULATORNOG OKVIRA PRIMJENE

Prije moguće implementacije autonomnih bespilotnih letjelica u prometni sustav, odnosno u postojeće ili nove ITS arhitekture, potrebno je provesti detaljnu analizu regulacija za primjenu autonomnih bespilotnih letjelica kako bi se ta implementacija izvršila na regularan i siguran način. Cilj je identificirati sve relevantne zakone, propise i smjernice koje utječu na upotrebu takvih letjelica u kontekstu prometne infrastrukture i sigurnosti.

Regulacije za područje Europske unije donosi agencija za zrakoplovnu sigurnost Europske unije (engl. European Union Aviation Safety Agency - EASA), koja opisuje pravila i mogućnosti korištenja bespilotnih letjelica te kategorije istih. EASA je agencija za zrakoplovnu sigurnost Europske unije, čije se sjedište nalazi u Kölnu, Njemačka. EASA je uređena europski javnim pravom, sadrži vlastitu pravnu osobnost te se time i razlikuje od institucija zajednice (vijeća, parlamenta, komisija, itd.). EASA je osnovana Uredbom (EU) 2018/1139 Europskog parlamenta i Vijeća od 4.srpnja 2018. o zajedničkim pravilima u području civilnog zrakoplovstva i uspostavljanju agencije za zrakoplovnu sigurnost Europske unije, te izmjenama i dopunama Uredbe (EZ) br.2111 / 2005., (EZ) br.1008/2008, (EU) br.996/2010, (EU) br.376/2014 i direktivama 2014/30 / EU i 2014/53 / EU Europskog parlamenta i Vijeća, te Uredbe Vijeća (EEZ) br.3922/91, te su mu dodijeljene posebne regulatorne i izvršne zadaće u području sigurnosti civilnog zrakoplovstva i zaštite okoliša [22].

Misija Agencije jest promicanje najviših standarda sigurnosti i zaštite okoliša u civilnom zrakoplovstvu. Agencija razvija zajednička pravila o sigurnosti i zaštiti okoliša na europskoj razini, odnosno postavlja standardizirana pravila za sve članice Europske unije [22]. Isto tako nadzire provedbu standarda kroz inspekcije u državama članicama i pruža potrebnu tehničku stručnost, obuku i istraživanje. Agencija surađuje s nacionalnim vlastima koje i dalje provode mnoge operativne zadatke, poput certificiranja pojedinačnog zrakoplova ili licenciranje pilota.

Na području Republike Hrvatske takve regulacije donosi Hrvatska agencija za civilno zrakoplovstvo (engl. Croatian Civil Aviation Agency - CCAA). CCAA je tijelo odgovorno za provođenje regulacije i nadzor civilnog zračnog prometa u Republici Hrvatskoj, uključujući i bespilotne letjelice. CCAA donosi propise, smjernice i pravila koja se odnose na operacije bespilotnih letjelica, njihovu registraciju, sigurnost, dozvole i druge aspekte njihove primjene u zračnom prostoru Republike Hrvatske [23].

Osim samog pregleda regulacije primjene bespilotnih letjelica, potrebno je analizirati zakonodavni i regulatorni okvir primjene bespilotnih letjelica u području ITS-a. Isto tako identificirati će se potencijalne prepreke i dati će se prijedlog, odnosno preporuke za poboljšanje pravne i regulatorne podrške.

7.1. Analiza EU regulative za primjenu bespilotnih letjelica

Prema regulacijama EU 2019/947 i 2019/945 utvrđuju se okviri za sigurno upravljanje civilnim bespilotnim letjelicama na europskom nebu. Te regulacije koriste pristup temeljen na riziku i kao takve ne razlikuju se između rekreativnih i komercijalnih aktivnosti s bespilotnim letjelicama. Važno je kako su definirane težine, specifikacije letjelice te vrste operacija koje se planiraju obaviti.

Regulacija (EU) 2019/947, koja je na snazi od 31. prosinca 2020. godine u svim članicama EU, uključujući i Norvešku i Lihtenštajn, dok se očekuje da će uskoro biti primjenjiva i u Švicarskoj i Islandu, obuhvaća većinu vrsta operacija s bespilotnim letjelicama i dijeli ih se u tri kategorije rizika: 'otvorena', 'posebna' i 'certificirana' kategorija [24].

7.1.1. 'Otvorena' kategorija

'Otvorena' kategorija odnosi se na operacije civilnih bespilotnih letjelica nižeg rizika u kojima je sigurnost osigurana pod uvjetom da operater civilne bespilotne letjelice ispunjava relevantne zahtjeve za namjeravanu operaciju. Ova kategorija dijeli se u tri potkategorije [25]:

- A1; moguće je preletjeti preko ljudi, ali ne i skupina ljudi
- A2; moguće je letjeti u blizini ljudi
- A3; moguće je letjeti daleko od ljudi

Svaka potkategorija dolazi s vlastitim skupom zahtjeva, temeljem čega je potrebno identificirati potkategorije operacije u kojoj će spadati aktivnosti, kako bi se odredila koja se pravila primjenjuju za te aktivnosti. Prijelazno razdoblje za odabir odgovarajuće bespilotne letjelice traje do 31. prosinca 2023. godine te do tog datuma nije potrebna primjena posebne vrste bespilotne letjelice za upravljanje u 'otvorenoj' kategoriji ako je težina istog manja od 25 kilograma. Sljedeća tablica daje detaljne zahtjeve koji se odnose na dronove za svaku kategoriju:

UAS		Operacija		Daljinski pilot		
CE oznake	Maks. težina	Potkategorija	Ograničenja	Registracija operatera	Kompetencije daljinskog pilota	Min. dob daljinskog pilota
C0	< 250 g	A1	Ne očekuje se let iznad neuključenih ljudi. Nema preleta preko skupina ljudi.	Ne, osim ako postoje senzori i letjelica nije igračka.	Nije potrebna obuka.	Nema minimalne dobi.
C1	< 500 g			Da.	Pročitati korisnički priručnik. Izvršiti obuku i online ispit.	16
C2	< 2 kg	A2	Nema preleta preko neuključenih ljudi. Držati horizontalnu distancu od 50m od ljudi.	Da.	Pročitati korisnički priručnik. Izvršiti obuku i online ispit.	16
C3,C4	< 25 kg	A3	Nema preleta preko ili blizu ljudi. Držati horizontalnu distancu od 150 od objekata.	Da.	Pročitati korisnički priručnik. Izvršiti obuku i online ispit.	16

Tablica 2. Regulatorni zahtjevi za kategorije bespilotnih letjelica

Izvor: <https://www.easa.europa.eu/>

Počevši od 1. siječnja 2024. godine operacije u otvorenoj kategoriji morat će se provoditi ili s bespilotnom letjelicom koja nosi oznaku klase C0 do C4, ili biti privatno izgrađen ili bez identifikacijske oznake klase, ali samo ako je kupljen prije 31. prosinca 2023. godine.

7.1.2. 'Posebna' kategorija

'Specifična' kategorija pokriva rizičnije civilne operacije bespilotnih letjelica, gdje sigurnost osigurava operater bespilotne letjelice dobivanjem operativnog odobrenja od

nacionalnog nadležnog tijela prije same operacije. Za dobivanje operativnog odobrenja, operater bespilotne letjelice mora provesti procjenu rizika, koja će odrediti zahtjeve potrebne za siguran rad civilne bespilotne letjelice. Primjeri operacija u 'posebnoj' kategoriji su [26]:

- Upravljanje letjelicom izvan vidnog polja.
- Maksimalna težina drona > 25 kg.
- Letovi bespilotne letjelice iznad 120m.
- Pri ispuštanju materijala bespilotnom letjelicom.
- Pri upravljanju bespilotnom letjelicom u urbanom okruženju sa maksimalnom težinom > 4 kg ili bez CE oznake.

Za upravljanje bespilotnom letjelicom u 'posebnoj' kategoriji potrebno je ispuniti sljedeće uvjete [26]:

- Daljinski pilot mora djelovati prema standardnom scenariju koji je izdala EASA ili njihovo nacionalno zrakoplovno tijelo (engl. National Aviation Authority - NAA).
- Ako je operacija prema standardnom scenariju, izjava se također mora podnijeti NAA-i.
- Ako se operacije ne provode prema standardnom scenariju, daljinski pilot mora provesti unaprijed definiranu procjenu rizika i dobiti odobrenje NAA-e.
- Za operaciju koji provodi daljinski pilot potrebno je dobiti svjetlosnu potvrdu operatora UAS.

7.1.3. 'Certificirana' kategorija

'Certificirana' kategorija namijenjena je operacijama najvišeg rizika. U ovu kategoriju spadati će budući oblici prijevoza ljudi koji koriste bespilotnu letjelicu kao prijevozno sredstvo poput zračnog taksija ili slično. Pristup koji se koristi za osiguravanje sigurnosti ovih letova bit će vrlo sličan onome koji se koristi za zrakoplove sa posadom. Iz tog razloga će se takve bespilotne letjelice trebati certificirati, operater UAS-a trebati će odobrenje zračnog operatora izdanog od nadležnog tijela, a daljinski pilot će morati posjedovati pilotsku dozvolu [27].

Dugoročno gledano, očekuje se da će se razina automatizacije dronova postupno povećavati do posjedovanja autonomnih bespilotnih letjelica bez potrebe intervencije daljinskog pilota. Kako bi se omogućile operacije u 'certificiranoj' kategoriji, gotovo svi

zrakoplovni propisi će se trebati izmijeniti. Upravo to će biti glavni zadatak EASA-e. EASA će takvu aktivnost provoditi kroz više faza i baviti će se sljedećim vrstama operacije, a one su [27]:

1. Operacija tipa #1: Međunarodni let certificiranih teretnih bespilotnih letjelica izveden pod instrumentalnim pravilom leta u razredima zračnog prostora A-C i polijetanje i slijetanje na aerodromima pod djelovanjem EASA-e.
2. Operacija tipa #2: Operacije bespilotnih letjelica u urbanim ili ruralnim sredinama koristeći unaprijed definirane rute u zračnim prostorima koje pružaju „U-space“ usluge. To uključuje operacije bespilotnih letjelica koje prevoze putnike ili teret.
3. Operacija tipa #3: Operacije kao u tipu #2, ali se izvodi sa zrakoplovom s pilotom na brodu. Očekuje se kako će se na taj način pokriti prva vrsta zračnih taksi operacija, gdje će pilotu biti u samoj letjelici. U drugoj fazi letjelica će postati daljinski pilotirana.

7.2. Analiza regulative Republike Hrvatske za primjenu bespilotnih letjelica

Prema Osnovnoj uredbi (EU) 2018/1139 propisana su zajednička pravila u području civilnog zrakoplovstva na području Europske unije koja uključuje i bespilotne zrakoplove bez obzira na njihovu operativnu masu [28]. Republika Hrvatska, kao članica Europske unije mora uskladiti zakone i regulacije prema Osnovnoj uredbi (EU) 2018/1139. Od 1. siječnja 2021. godine nacionalni propis Pravilnik o sustavima bespilotnih zrakoplova (NN 104/18) kojima su bile regulirane operacije bespilotnih zrakoplova u Republici Hrvatskoj prestaju važiti, temeljem Pravilnika o prestanku važenja Pravilnika o sustavima bespilotnih zrakoplova (NN 10/2021) te se počinju primjenjivati europski propisi [29].

Danas, u Republici Hrvatskoj, upravljanje bespilotnim letjelicama regulirano je Zakonom o zračnom prometu (NN 69/09, 84/11, 54/13, 127/13, 92/14) [30]. Ovim zakonom definirana su pravila i uvjeti za korištenje zračnog prostora, uključujući i operacije bespilotnim letjelicama, a zakon je u skladu sa uredbama provedenim od strane EASA-e. Uredbe koje je EASA postavila na snagu, a s kojima se mora uskladiti zakon svih članica Europske unije, su sljedeće [31]:

- Delegirana uredba (EU) 2019/945 o sustavima bespilotnih zrakoplova i o operatorima sustava bespilotnih zrakoplova iz trećih zemalja.
- Provedbena uredba (EU) 2019/947 o pravilima i postupcima za rad bespilotnih zrakoplova.

Sastavni dio Delegirane i Provedbene Uredbe su i Prihvatljivi načini udovoljavanja (engl. Acceptable Means of Compliance - AMC) te smjernice (engl. Guided Material - GM) koje donosi EASA. EASA izrađuje AMC i GM kako bi korisnicima pomogli u provedbi regulative.

U Republici Hrvatskoj za propisivanje i usklađivanje zakona o zračnom prometu odgovorna je CCAA koja donosi propise, smjernice i pravila koja se odnose na operacije bespilotnih letjelica, njihovu registraciju, sigurnost, dozvole i druge aspekte njihove primjene u zračnom prostoru Republike Hrvatske. Uredbe koje je donijela EASA, a primjenjuje i CCAA sadržavaju propise vezane za [32]:

- Primjenjivost u državi članici
- Potkategorije otvorene kategorije i povezane klase bespilotnih zrakoplova
- Registracija operatora bespilotnog zrakoplova
- Odgovornosti operatora bespilotnog zrakoplova
- Odgovornosti udaljenog pilota
- Izvještavanje o nezgodama i nesrećama

Prema EASA regulacijama, s kojima je i u skladu Zakon o zračnom prometu Republike Hrvatske, neki od ključnih aspekata regulacije za bespilotne letjelice uključuju [32]:

1. Operativni uvjeti: Operacije bespilotnim letjelicama dijele se na tri kategorije definirane u poglavlju 7.1. Analiza EU regulative.
2. Sigurnosni zahtjevi: Bespilotne letjelice moraju zadovoljavati tehničke standarde za sigurnu operaciju. Operacije se u svim kategorijama moraju voditi uz minimalni rizik. Potrebno je voditi tehničke inspekcije i održavanje bespilotnih letjelica kako bi se održala razina sigurnosti.
3. Licenciranje pilota: Piloti koji provode operacije u 'posebnoj' i 'certificiranoj' kategoriji moraju imati licencu. Postoje razne razine licence koje za Republiku Hrvatsku definira CCAA. Za 'otvorenu' kategoriju potrebno je završiti online edukaciju koju pruža CCAA.
4. Ostali zahtjevi: Registracija bespilotne letjelice je obvezna za sve kategorije. Potrebno je vršiti evidenciju letačkih operacija.

Dok su ovo samo neki od ključnih aspekata regulacije korištenja bespilotnih letjelica, cijelu edukaciju moguće je dobiti na službenim stranicama CCAA, odnosno putem online tečaja koju CCAA pruža za nove korisnike bespilotnih letjelica.

7.3. Analiza zakonodavnog i regulatornog okvira primjene bespilotnih letjelica

Sve većom primjenom bespilotnih letjelica za izvršavanje raznih letačkih operacija, poput nadzora gradskog prometa, ili otkrivanje incidentnih situacija, potrebno je regulirati njihovo djelovanje kako bi se osigurao sigurni zračni prostor i umanjile bilo kakve mogućnosti nastanka nesreća bespilotnih letjelica. Iz razloga sigurnosti postavljanje novih regulacija za primjenu bespilotnih letjelica postaje neizbježna. Bez adekvatnog okvira regulacije dolazi do povećanja rizika od neželjenih incidenata i konflikata u zračnom prostoru, pa tako i narušavanju sigurnosti, privatnosti i povjerenja javnosti. Stoga je ključno sagledati potrebu za preciznim i ažuriranim propisima koji će omogućiti razvoj i primjenu bespilotnih letjelica u ITS-u, osiguravajući istovremeno visoke standarde sigurnosti i pouzdanosti.

Prema regulaciji Republike Hrvatske, za letenje sustavom bespilotnih letjelica za potrebe izvođenja letačkih operacija, operator sustava bespilotnih letjelica smije izvoditi letačke operacije kada Hrvatskoj agenciji za civilno zrakoplovstvo [33]:

- Podnese prijavu u evidenciju operatora sustava bespilotnih zrakoplova, gdje je prijava obvezna za kategorije B2 i C1
- Ishodi odobrenje za izvođenje letačkih operacija kategorije C2

Pravila letenja koja definiraju u kojim uvjetima, ili s kojim ograničenjima je dopušteno izvršavati letačke operacije bespilotnim letjelicama su sljedeća [34]:

- Let se mora izvoditi danju,
- Let se obavlja u nekontroliranom zračnom prostoru na visini do 120 m iznad razine tla ili do 50 m iznad prepreke, ovisno što je više,
- Letenje u kontroliranom zračnom prostoru izvan prostora polumjera 5km od referentne točke aerodroma na visini od 50 m iznad razine tla,
- Letenje na udaljenosti od najmanje 3km od rubova pragova uzletno-sletne staze nekontroliranog aerodroma, osim kada su posebno predviđene procedure za letenje bespilotnih zrakoplova definirane naputkom za korištenje aerodroma,

- Let se obavlja na način da horizontalna udaljenost bespilotne letjelice od skupine ljudi nije manja od 50m, osim kada se bespilotnom letjelicom sudjeluje u zrakoplovnoj priredbi,
- Let se mora izvršavati na način da horizontalna udaljenost od ljudi koji nisu uključeni u operacije nije manja od visine leta i nije manja od 5 m kada je na bespilotnom zrakoplovu uključen način rada na maloj brzini i kada je najveća dopuštena brzina 3 m/s, ili 30 m u ostalim slučajevima,
- Bespilotna letjelica mora biti unutar vidnog polja pilota na daljinu,
- Za let se mora uspostaviti ad-hoc struktura (struktura zračnog prostora) u skladu s primjenjivim propisom o upravljanju zračnim prostorom.

Isto tako, u kontekstu opće uredbe o zaštiti podataka (engl. General Data Protection Regulation - GDPR), za letačke operacije koje predstavljaju izvođenje leta sustavom bespilotne letjelice za potrebe radova iz zraka, bez obzira da li se za to prima naknada ili ne, operater mora osigurati da je bespilotna letjelica označena sa identifikacijskom negorivom pločicom, ili identifikacijskom naljepnicom, za bespilotne zrakoplove operativne mase do 5 kg. Takva identifikacijska oznaka mora sadržavati sljedeće podatke [34]:

- Ime, prezime, adresu i kontakt informacije vlasnika bespilotne letjelice.
- Jedinственu identifikacijsku oznaku bespilotne letjelice.

Isto tako, pilot na daljinu ima svoje odgovornosti i dužnosti kojih se treba držati kako bi se umanjio rizik od incidentnih situacija. S tim u vezi, pilot na daljinu mora izvršavati sljedeće:

- Upravlјati bespilotnom letjelicom na siguran način bez ugrožavanja života, zdravlјa ili imovine,
- Upravlјati bespilotnom letjelicom sukladno propisanoj regulativi,
- Izvršavati provјere ispravnosti sustava bespilotne letjelice,
- Izvršavati provјere oznaka bespilotne letjelice prije izvršavanja letačkih operacija,
- Osigurati područје za sigurno uzliјetanje i sliјetanje bespilotne letjelice,
- Prikupljati sve potrebite informacije potrebne za planiranu letačku operaciju,
- Osigurati da su svi elementi bespilotne letjelice odgovarajuće pričvršćeni,

- Promatrati zračni prostor kako bi se izbjegle nesreće, itd.

S druge strane, pilot na daljinu ne smije upravljati istovremeno sa više bespilotnih letjelica i/ili unutar područja gdje se izvodi hitna intervencija. Konačno, potrebno je sagledati ograničenja snimanja bespilotnom letjelicom. Snimanje iz zraka smatraju se sva snimanja kod kojih se uređaj za snimanje, odnosno kamera, ne nalazi na zemlji, vodi ili objektima na njima. Snimanje područja i vodenih površina Republike Hrvatske iz zraka vodi se prema Uredbi o snimanju iz zraka (NN 77/2020) za potrebe izmjere zemljišta, istraživanja, prostornog uređenja te za druge gospodarstvene i znanstvene potrebe. Snimanja iz zraka, osim tijela državne uprave, mogu izvršavati pravne i fizičke osobe registrirane za izmjeru zemljišta i za snimanje iz zraka. Pravne i fizičke osobe mogu izvršavati snimanja iz zraka samo nakon pribavljanja odobrenja za razvijanje zračnih snimaka, koje se podnosi Državnoj geodetskoj upravi [34].

Od 26. siječnja 2023. godine EU je donijela nove regulacije o posebnom zračnom prostoru za bespilotne letjelice. Ove EU regulacije uspostavljaju poseban zračni prostor za bespilotne letjelice poznatiji kao U-prostor (engl. U-space), što omogućava operatorima širi spektar usluga. U-prostor stvara uvjete za sigurne operacije kako bespilotnih letjelica tako i letjelica s posadom te će omogućiti industriji daljnje širenje tržišta za industriju bespilotnih letjelica i pripadajuće usluge. Nove regulacije posebno pomažu u izvođenju složenijih i duljih operacija, posebno u niskom zračnom prostoru koji je gusto prometan te kada je bespilotna letjelica izvan vidnog polja daljinskog pilota. Takve operacije mogu obuhvaćati dostave, hitne intervencije, inspekciju infrastrukture, i slično, što i otvara novi put za primjenu bespilotnih letjelica u novim ITS rješenjima. Sljedeći koraci uključuju da članice EU označe svoje područje U-prostora te da rade na razmjeni informacija i standardima za navigacijsku izvedbu. Planira se kako će ovi tehnološki razvoji podržati punu implementaciju U-prostora do 2030. godine, kako je zamišljeno u strategiji dronova 2.0 [35].

Kada se sagleda cijela dostupna regulacija bespilotnih letjelica, može se reći kako u kontekstu ITS-a ona nije jasno definirana čime dolazi do izazova integracije bespilotnih letjelica u ITS rješenja. Dosadašnja regulativa odnosila se uglavnom na pravila u skladu s kojima se mora upravljati bespilotnom letjelicom, dok donošenjem nove U-prostor regulative, ostvaruje se novi korak prema definiranju pravnog okvira za primjenu bespilotnih letjelica u ITS-u. Osim što regulacija omogućuje složenije letačke operacije pod koje mogu spadati hitne intervencije, nadzor, itd., isto tako postavlja se temelj za daljnji razvoj tehnologije i usluga

vezanih za bespilotne letjelice. S obzirom na tekuće promjene i regulacijske napore, može se reći da postoji svijetla budućnost za integraciju bespilotnih letjelica u nova ITS rješenja.

8. ZAKLJUČAK

Razvijanje novih načina za rješavanje prometnih problema kako bi se povećao protok vozila, smanjile gužve, povećala sigurnost i općenita kvaliteta života jedna je od glavnih zadaća inteligentnih transportnih sustava. Dok takva rješenja mogu biti razvitak sustava pomoći u automobilima, postavljanje pametnih semafora, postavljanje boljih sustava za informiranje putnika, jedan od novijih tehnologija čija se primjena istražuje su bespilotne letjelice, točnije sustavi autonomnih bespilotnih letjelica. Zadnjih godina naponi za istraživanje mogućnosti takvih sustava rastu, gdje su česta područja primjene u svrhu nadzora prometa za prikupljanje podataka kako bi se dobio bolji uvid u probleme i mogućnosti, nadzor parkirališta za preusmjeravanje vozača, dostavu te otkrivanje incidentnih situacija. Naravno postoje i mnoge druge mogućnosti koje se ili istražuju ili tek trebaju otkriti.

U ovom radu nastojalo se ispitati na koje načine bi bilo moguće integrirati autonomne bespilotne letjelice u postojeće ITS infrastrukture. Sam sustav takvih letjelica služio bi kao zamjena ili nadopuna za već neke postojeće sustave poput stacionarnih kamera ili ostalim sensorima koje je moguće sve češće vidjeti na novim raskrižjima s adaptivnim semaforima. Dok se takvim sustavima može dobro voditi pojedino raskrižje, nadopunom sustava sa autonomnim bespilotnim letjelicama, adaptivno upravljanje prometom bi se moglo dići na višu razinu. Cijela ideja takvog sustava je da postoji centar za nadzor i upravljanje prometom koji prati djelovanje bespilotnih letjelica i temeljem njihovih otkrivanja upravljaju prometom na najoptimalniji način. Naime same bespilotne letjelice imaju svojih fizičkih mana gdje u današnjici još možda nije realno izvesti takve sustave dronova, ali daljnjim napretkom tehnologija bespilotnih letjelica te inovativnim idejama za njihovim upravljanjem i vođenjem mogla bi postojati budućnost gdje će dronovi biti velika podrška prometnom sustavu. Mane na stranu, Europska unija sve više razvija regulativu koja ide u korist dronovima za obavljanje sve opsežnije letačke operacije gdje se počinje i spominjati svrha korištenja dronova za nadzor prometa. Isto tako EU projektom FRAME NEXT daju alate za lakše stvaranje arhitekture novih ITS usluga. Ovim radom korišten je alat FRAME NEXT projekta zajedno u kombinaciji sa programskim alatom Enterprise Architect kako bi se istražila mogućnost stvaranja novih arhitektura ITS usluga. Za primjer stvorena je arhitektura sustava nadzora prometa u svrhu otkrivanja incidentnih situacija korištenjem bespilotne letjelice. Pokazalo se kako je alatom lako moguće, uz prijašnju edukaciju putem korisničkog priručnika, stvoriti arhitekturu sustava i izvući potrebitu dokumentaciju koja može biti temelj za daljnje postupke izrade ITS usluge.

Isto tako može se vidjeti kako je alat još u razvoju i zahtjeva još napora kako bi se doveo na komercijalnu razinu.

U konačnici, može se utvrditi kako dodatni napori Europske unije za razvoj ITS usluga i proširenjem regulative primjene bespilotnih letjelica definitivno daju vjetar u leđa ovoj tehnologiji. Isto tako raznim istraživanjima i razvojem novih tehnologijama koje se baziraju na umjetnoj inteligenciji načini i mogućnosti bespilotnih letjelica rastu svakom prolaznom godinom te se sa sigurnošću može reći da im je budućnost svijetla.

LITERATURA

- [1] K. Nonami, F. Kendoul, S. Suzuki, W. Wang, D. Nakazawa , Autonomous Flying Robots: Unmanned Aerial Vehicles And Micro Aerial Vehicles. Springer Science & Business Media, 2010; Preuzeto s: https://books.google.hr/books?hl=hr&lr=&id=6H-ANYxUKzwC&oi=fnd&pg=PR1&dq=autonomous+aerial+vehicles&ots=XzImb2ttzo&sig=m7o-vYrtTSznj_qWN64ZB3m2qiU&redir_esc=y#v=onepage&q=autonomous%20aerial%20vehicles&f=false [Pristup: travanj, 2023.]
- [2] https://en.wikipedia.org/wiki/Unmanned_aerial_vehicle [Pristup: travanj, 2023.]
- [3] https://www.daviddarling.info/encyclopedia/K/Kettering_Bug.html [Pristup: travanj, 2023.]
- [4] <https://interestingengineering.com/innovation/a-brief-history-of-drones-the-remote-controlled-unmanned-aerial-vehicles-uavs> [Pristup: travanj, 2023.]
- [5] Sinčić M., Primjena dronova (autonomni robot) u nadzoru prometa, Završni rad. Sveučilište u Rijeci, Pomorski Fakultet; 2020. Preuzeto s: <https://repository.pfri.uniri.hr/islandora/object/pfri%3A2067/datastream/PDF/view#page=10&zoom=100,90,357> [Pristup: travanj, 2023.]
- [6] <https://www.mdpi.com/1424-8220/21/18/6223> [Pristup: travanj, 2023.]
- [7] <https://www.e-education.psu.edu/geog892/node/5> [Pristup: travanj, 2023.]
- [8] <https://encyclopedia.pub/entry/25512> [Pristup: svibanj, 2023.]
- [9] <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S096585642030728X> [Pristup: svibanj, 2023.]
- [10] Republika Hrvatska, Nacionalni program za razvoj i uvođenje inteligentnih transportnih sustava u cestovnom prometu 2014-2018. Izdanje: 1580. Narodne Novine; 2014. [Pristup: svibanj, 2023.]
- [11] <https://rno-its.piarc.org/en/intelligent-transport-systems-what-its2100-website-basic-its-concepts/its-infrastructure> [Pristup: svibanj, 2023.]

- [12] <https://www.rijeka.hr/gradska-uprava/gradski-projekti/realizirani-projekti/promet-i-mobilnost/pametnim-semaforima-modernizirano-sest-rijeckih-raskrizja/> [Pristup: svibanj, 2023.]
- [13] <https://www.transoftsolutions.com/blogpost/drone-video-vs-fixed-cameras-which-is-best-for-traffic-safety-studies/?setRegion=emea> [Pristup: svibanj, 2023.]
- [14] <https://datafromsky.com/about-us/> [Pristup: lipanj, 2023.]
- [15] <https://datafromsky.com/trafficdrone/> [Pristup: lipanj, 2023.]
- [16] <https://www.tenzorsbs.hr/integracija-sustava/parkirne-garaze/sustav-vodenja-u-parkirnim-garazama> [Pristup: lipanj, 2023.]
- [17] Cheng-Fang Peng, Jun-Wei Hsieh, Shao-Wei Leu, Chi-Hung Chuang, Drone-Based Vacant Parking Space Detection. IEEE, 2018. Preuzeto s: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8418140> [Pristup: lipanj, 2023.]
- [18] <https://frame-next.eu/frame/> [Pristup: lipanj, 2023.]
- [19] <https://frame-next.eu/frame-next/> [Pristup: lipanj, 2023.]
- [20] <https://sparxsystems.com/products/ea/index.html> [Pristup: lipanj, 2023.]
- [21] <https://frame-next.eu/wp-content/uploads/2020/12/FRAME-Architecture-Tool-User-Guide.pdf> [Pristup: lipanj, 2023.]
- [22] <https://www.easa.europa.eu/en/the-agency/faqs/about-easa> [Pristup: srpanj, 2023.]
- [23] <http://www.ccaa.hr/o-nama-94187> [Pristup: srpanj, 2023.]
- [24] <https://www.easa.europa.eu/en/domains/civil-drones> [Pristup: srpanj, 2023.]
- [25] <https://www.easa.europa.eu/en/domains/civil-drones/drones-regulatory-framework-background/open-category-civil-drones> [Pristup: srpanj, 2023.]
- [26] <https://www.easa.europa.eu/en/domains/civil-drones-rpas/specific-category-civil-drones> [Pristup: srpanj, 2023.]
- [27] <https://www.easa.europa.eu/en/domains/civil-drones/drones-regulatory-framework-background/certified-category-civil-drones> [Pristup: srpanj, 2023.]

- [28] <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HR/TXT/?uri=CELEX%3A32018R1139>
[Pristup: kolovoz, 2023.]
- [29] Republika Hrvatska, Pravilnik o prestanku važenja pravilnika o sustavima bespilotnih zrakoplova. Izdanje: 204. Narodne Novine; 2021. [Pristup: kolovoz, 2023.]
- [30] Republika Hrvatska, Zakon o zračnom prometu, 2014. [Pristup: kolovoz, 2023.]
- [31] <https://www.ccaa.hr/letacke-operacije-sustavima-bespilotnih-zrakoplova-18055> [Pristup: kolovoz, 2023.]
- [32] <http://www.ccaa.hr/osposobljavanje-za-udaljene-pilote-28241> [Pristup: kolovoz, 2023.]
- [33] <https://gov.hr/hr/upravljanje-i-koristenje-sustava-bespilotnih-zrakoplova-tzv-dronova/1548> [Pristup: kolovoz, 2023.]
- [34] https://www.gdpr-2018.hr/33/pravna-regulacija-bespilotnih-letjelica-dronova-u-kontekstu-gdpr-a-uniqueidRCViWTptZHJrD63HGNzci3RhEopcu60fAg_rzFJ8D5c/ [Pristup: kolovoz, 2023.]
- [35] https://transport.ec.europa.eu/news-events/news/new-eu-rules-dedicated-airspace-drones-enter-force-2023-01-26_en [Pristup: kolovoz, 2023.]

POPIS SLIKA

Slika 1 Kettering bug - prvi uspješni UAV torpedo	8
Slika 2 Queen Bee.....	8
Slika 3 Moderna bespilotna letjelica.....	9
Slika 4 UAV s fiksnim krilima	10
Slika 5 Hibridni UAV	11
Slika 6 Dron s lepetanjem krila.....	11
Slika 7 Hardverske komponente UAV-a	14
Slika 8 Softverske komponente UAV-a.....	15
Slika 9 Kontrolne strukture bespilotnih letjelica 1-4	17
Slika 10 Kontrolne strukture 5-7.....	18
Slika 11 Primjena bespilotnih letjelica za inspekciju prometnih nesreća	21
Slika 12 Obrada video podataka prikupljenih bespilotnom letjelicom	22
Slika 13 Inspekcija mostova bespilotnom letjelicom.....	23
Slika 14 Prijedlog osnovnih komponenti ITS infrastrukture sa integriranom bespilotnom letjelicom.....	30
Slika 15 Nadzor parkirališta primjenom bespilotne letjelice.....	32
Slika 16 Proces stvaranje sub-arhitekture ITS usluge.....	37
Slika 17 Koraci izrade sub-arhitekture ITS usluge	41
Slika 18 Korisnički zahtjevi.....	43
Slika 19 Funkcionalni pogled	51
Slika 20 Fizički pogled	54

POPIS TABLICA

Tablica 1 Klasifikacija dronova	12
Tablica 2 Regulatorni zahtjevi za kategorije bespilotnih letjelica	58

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti
Vukelićeva 4, 10000 Zagreb

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOSTI

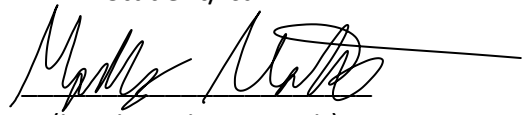
Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je _____ diplomski rad
(vrsta rada)

isključivo rezultat mojega vlastitog rada koji se temelji na mojim istraživanjima i oslanja se na objavljenu literaturu, a što pokazuju upotrijebljene bilješke i bibliografija. Izjavljujem da nijedan dio rada nije napisan na nedopušten način, odnosno da je prepisan iz necitiranog rada te da nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava. Izjavljujem, također, da nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

Svojim potpisom potvrđujem i dajem suglasnost za javnu objavu završnog/diplomskog rada pod naslovom **Integracija autonomnih bespilotnih letjelica u inteligentnu prometnu infrastrukturu**, u Nacionalni repozitorij završnih i diplomskih radova ZIR.

U Zagrebu, 06/09/2023

Student/ica:


(ime i prezime, potpis)